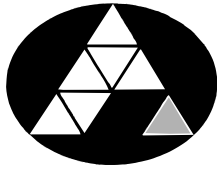


POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Antti Kuosmanen ja Mikko Määttänen

OMAKOTITALON ENERGIANKULUTUKSEN LASKENTA VUODEN 2012 RA-
KENTAMISMÄÄRÄYSTEN MUKAISESTI JA SEN TESTAUS PIENOISMALLIN
AVULLA

Opinnäytetyö
Toukokuu 2012



POHJOIS-KARJALAN
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2012
Rakennustekniikan
koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU

Tekijät

Antti Kuosmanen, Mikko Määttänen

Nimeke

Omakotitalon energiankulutuksen laskenta vuoden 2012 rakentamismääräysten mukaisesti ja sen testaus pienoismallin avulla

Toimeksiantaja

Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä on tuotettu uusiutuvan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, mukainen laskenta suora sähkölämmitteiselle omakotitalolle. Omakotitalosta on tehty myös pienoismalli, johon on liitetty talotekniikka. Talotekniikan toteutuksesta vastattiin yhteistyössä tietotekniikan koulutusohjelman opiskelijoiden kanssa. Pienoismallia testattiin erilaisilla talotekniikan asetuksilla, testauksesta saatuja tuloksia verrattiin D5:n laskelmien ja ympäristöministeriön vuoden 2009 D3 -tasauslaskimen tuloksiin.

D5 -laskenta suoritettiin yksityiskohtaisesti, jotta opinnäytetyötä voitaisiin käyttää hyväksi Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun tulevissa opintojaksoissa. Pienoismallin testaaminen on myös mahdollista opintojaksojen yhteydessä. Testauksen tulokset antavat opiskelijoille peruskäsityksen omakotitalon energiankulutuksen tarpeista sekä suurimmista painopisteistä.

Laskennan perusteella voidaan todeta, että pientaloa ei näillä lähtöarvoilla voi rakentaa pelkän sähkölämmityksen varaan. Suurin syy tähän on sähköenergialle määritetyssä energiamuotokertoimessa, joka on korkea verrattuna vaihtoehtoisiin energiamuotoihin.

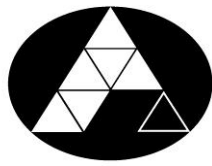
Pienoismallia voi kehittää edelleen tiivistämällä rakenteita ja parantamalla ilmanvaihdon lämmöneristystä. Rakenteita vaihtamalla pienoismallilla voidaan myös testata raskaiden rakenteiden vaikutusta energiankulutukseen ja lämmitystehontarpeeseen.

Kieli
suomi

Sivuja 97
Liitteet 18
Liitesivumäärä 34

Asiasanat

D5, pienoismalli, E-luku, Energiankulutus



NORTH KARELIA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS
May 2012
Degree Programme in Civil Engineering
Karjalankatu
FIN 80200 JOENSUU
FINLAND

Authors

Antti Kuosmanen, Mikko Määtänen

Title

Energy Consumption Calculation for a Detached House According to 2012 Building Regulations and Testing It With a Small Scale Model

Commissioned by

North Karelia University of Applied Science

Abstract

This thesis deals with calculations of energy consumption and heating efficiency of an electrically heated detached house according to the updated part D5 of Finnish national building regulation. According to the plans of the detached house a small scale model was produced. The small scale model was fitted with building systems in association with information technology students.

The detailed energy consumption and heating efficiency calculations were executed so that they could be utilized in future education at NKUAS. With the small scale model students are able to simulate the building's energy and heat consumption. Test results also give the students a basic knowledge of building's energy consumption and the main focus areas in the future building technology.

It was discovered that an electrically heated detached house would not meet the regulations specified for new detached house according to updated D5. This was mainly caused due to the high factor of electrical energy.

The small scale model could be evolved by developing the hermetic sealing of the joints and structures of the model. Furthermore the small scale model could be tested with heavyweight structures by replaceable structures.

Language
Finnish

Pages 97
Appendices 18
Pages of Appendices 34

Keywords

D5, small scale model, energy efficiency, energy consumption

Sisältö

1	Johdanto	10
1.1	Tausta	10
1.2	Tavoite	10
1.3	Rajaus	11
2	Omakotitalon rakenteet	12
2.1	Alapohja	13
2.2	Ulkoseinät	14
2.3	Väliseinät	15
2.4	Yläpohja	16
2.5	Ovet ja ikkunat	17
2.6	Rakennuksen pinta-ala ja tilavuus	18
3	Omakotitalon energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta	20
3.1	Tilojen lämmitysenergian nettotarve	20
3.2	Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt	20
3.3	Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve	24
3.4	Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve	26
3.5	Tilojen lämmitysenergian nettotarpeen yhteenveto	28
3.6	Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve	29
4	Laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus	31
4.1	Käytettävien lamputyyppien laskenta valaistusvoimakkuuksittain	31
4.2	Huonekohtainen valaistustehon laskenta	33
5	Lämpökuormat	34
5.1	Lämpökuorma henkilöistä	34
5.2	Lämpökuorma valaistuksesta ja sähkölaitteista	35
5.3	Ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan auringon säteilyenergia	36
5.4	Lämpökuormista hyödynnettävä lämpöenergia	38
6	Lämmitysjärjestelmän energiankulutus	42
6.1	Tilojen ja ilmanvaihdon lämmönjakelujärjestelmän lämpöenergian tarve	42
6.2	Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve	42
6.3	Lämmitysjärjestelmän energiankulutus	43
7	Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus	45
8	Rakennuksen E-luku	46
9	Pienoismallin rakenneratkaisut	49
9.1	Mallitalon rakenteiden vaikutus pienoismallin rakenneratkaisuihin	49
9.2	Pienoismallin energialaskenta	50
9.3	Pienoismallin alapohja	50
9.4	Pienoismallin ulkoseinä	52
9.5	Pienoismallin väliseinät	53
9.6	Pienoismallin yläpohja	55
9.7	Pienoismallin ovet ja ikkunat	55
10	Energian kulutuksen ja lämpöhäviöiden simulointi pienoismallin avulla	57
11	Tulosten analysointi	58
11.1	E-luvun laskenta	58
11.2	Simuloinnin tulokset	59
11.2.1	Ominaislämpöhäviö	59
11.2.2	Aikavakio	60
11.3	Tulosten luotettavuus	60
12	Pohdinta	61
	Lähteet	63

Liitteet

Liite 1	Omakotitalon tasauslaskenta
Liite 2	Rakenneosien läpijohtuvan lämpöhäviön laskenta
Liite 3	Kylmäsiltojen aiheuttaman lämpöhäviön laskenta
Liite 4	Vuotoilman lämpenemisen tarvitseman energiamäärän laskenta
Liite 5	Ilmanvaihtokoneen tekninen laskenta
Liite 6	Kuukausittaiset laskennan lähtötiedot
Liite 7	Ajanjakson pituus kuukausittain
Liite 8	Lämpimän käyttöveden energian tarpeen laskenta
Liite 9	Valaistustehon laskenta valaisinmalleittain
Liite 10	Huonekohtainen valaisutehon laskenta
Liite 11	Käyttöaikaosuuden laskenta
Liite 12	Henkilöiden luovuttaman lämpöenergian laskenta
Liite 13	Ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan lämpökuorman laskenta
Liite 14	Auringon säteilyenergia ilmansuunnittain
Liite 15	Lämmityksessä hyödynnettävien lämpökuormien laskenta
Liite 16	E-luvun laskennan tulokset
Liite 17	Pienoismallin U-arvo laskenta
Liite 18	Testausraportti

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

a	numeerinen parametri
A_{huone}	valaistavan tilan huonepinta-ala, m^2
A_i	rakennusosan i pinta-ala, m^2
A_{ikk}	ikkunan pinta-ala, m^2
A_{netto}	rakennuksen lämmitetty nettoala, m^2
A_{vaippa}	rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), m^2
C_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, $1\,000\text{ J}/(\text{kgK})$
C_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti, $4,2\text{ kJ}/(\text{kgK})$
C_{rak}	rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti, Wh/K
E_i	tilan i valaistusvoimakkuus, lx
E_{osto}	rakennuksen ostoenergian kulutus, $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
f	valaistuksen ohjaustavasta riippuvia ohjaukertoimia
$f_{\text{kaukolämpö}}$	kaukolämmön energiamuodon kerroin
$F_{\text{läpäisy}}$	säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin
F_{suunta}	muuntokerroin, jolla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan ilmansuunnittain pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi
$f_{\text{sähkö}}$	sähkön energiamuodon kerroin
g	ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin
$g_{\text{kohtisuora}}$	ikkunan valoaukon kohtisuora auringonsäteilyn kokonaissäteilykerroin
$G_{\text{säteily, vaakapinta}}$	vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti, $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{kk})$
H_{tila}	rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö, W/K
k	rakennuksen käyttöaikainen käyttöaste, joka kuvaa ihmisten keskimääräistä läsnäoloa rakennuksessa
l_k	viivamaisen kylmäsillan pituus, m
n	henkilöiden lukumäärä
n_{50}	rakennuksen ilmavuotoluku 50 Pa :n paine-erolla, $1/\text{h}$

Φ_{henk}	yhden henkilön luovuttama keskimääräinen lämpöteho (ei sisällä haihtumislämpöä), W/henkilö
$P_{\text{valaistus}}$	valaistavan tilan valaistuksen kokonaissähköteho huonepinta-alaa kohti, W/hm ²
Q_{50}	rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m ³ /(hm ²)
Q_{alapohja}	johtumislämpöhäviö alapohjien läpi, kWh
Q_{aur}	ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh tai kWh/kk
Q_{henk}	henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh
Q_{ikkuna}	johtumislämpöhäviö ikkunoiden läpi, kWh
Q_{iv}	ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh
Q_{joht}	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh
$Q_{\text{kaukolämpö}}$	kaukolämmön kulutus, kWh/(m ² a)
$Q_{\text{kylmäsiljat}}$	johtumislämpöhäviö kylmäsiltojen läpi, kWh
$Q_{\text{lkv,netto}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh
$Q_{\text{lkv,varastointi}}$	lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviö, kWh/a
$Q_{\text{lämpökuorma}}$	rakennuksen lämpökuorma, kWh
$Q_{\text{lämmitys}}$	lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh/(m ² a)
$Q_{\text{lämmitys,iv}}$	ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{\text{lämmitys,lkv}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$	tilojen lämmitysenergian nettotarve, kWh
Q_{ovi}	johtumislämpöhäviö ulko-ovien läpi, kWh
Q_{rakosa}	johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi, kWh
$Q_{\text{sis.lämpö}}$	lämpökuormat, jotka hyödynnetään lämmityksessä, kWh
$Q_{\text{säh}}$	valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma, kWh
Q_{tila}	tilojen lämmitysenergian tarve, kWh
$Q_{\text{ulkoseinä}}$	johtumislämpöhäviö ulkoseinien läpi, kWh
q_v	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m ³ /s
$q_{v,tulo}$	tuloilmavirta, m ³ /s
$q_{v,vuotoilma}$	vuotoilmavirta, m ³ /s

$Q_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{\text{yläpohja}}$	johtumislämpöhäviö yläpohjien läpi, kWh
SFP	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen omaissähköteho, kW/(m ³ s)
t_d	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
T_{lto}	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C
T_s	sisäilman lämpötila, °C
T_{sp}	sisäänpuhalluslämpötila, °C
T_u	ulkoilman lämpötila, °C
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7vrk
U_i	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)
V	rakennuksen ilmatilavuus, m ³
V_{lkv}	lämpimän käyttöveden kulutus, m ³
$W_{\text{ilmanvaihto}}$	ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
$W_{\text{kuluttajalaitteet}}$	kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus, kWh
$W_{\text{sähkö}}$	sähkön kulutus, josta vähennetty rakennuksessa käytetty omavaraissähköenergia, kWh/a
$W_{\text{valaistus}}$	valaistusjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
x	kerroin, joka on yksikerroksiselle rakennukselle 35
β	valaistuksen alenemakerroin
γ	lämpökuorman suhde lämpöhäviöön
Δt	ajanjakson, laskentajakson tai käyttöajan ajallinen kes- to
$\Delta t_{\text{oleskelu}}$	oleskeluaika, h
$\Delta T_{\text{puhallin}}$	lämpötilan nousu puhaltimessa, °C
η	valaistushyötysuhde
$\eta_{lkv,siirto}$	lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde
$\eta_{\text{lämpö}}$	lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste
η_{ϕ}	lamppujen valotehokkuus, lm/W
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³

ρ_v	veden tiheys, 1 000 kg/m ³
τ	rakennuksen aikavakio, h
Ψ_k	viivamaisen kylmäsillan lisäkonduktanssi, W/(mK)

1 Johdanto

1.1 Tausta

Vuoden 2012 kesällä voimaan tulevien uudistuvien Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeiden ja määräysten mukaan pyritään rakentamaan ja suunnittelemaan yhä energiatehokkaampia rakennuksia. Tämä opinnäytetyö perustuu uusiutuvaan D5-oppaaseen, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskentaan.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu, joka halusi simulointimallin uusille rakentamiskokoelman määräyksille. Tarkoituksena oli, että pienoismallia olisi mahdollista esitellä erilaisissa tapahtumissa ja käyttää myös osana koulun varsinaista opetusta.

1.2 Tavoite

Työssä keskityttiin tutkimaan energiankulutusta ja lämmitystehon tarvetta normaalissa pientalossa. Tämä mallikohde myös skaalattiin pienempään kokoon ja siihen käytettiin materiaaleja, jotka käyttäytyvät ja toimivat samanlaisesti kuten oikea rakenne. Pienoismalliin sisällytettiin myös talotekniikka ja sen säätelyseen vaadittava ohjausyksikkö, josta vastasivat automaatiotekniikan opiskelijat Lari Sistonen ja Antti Leppänen.

Osaksi työtä haluttiin lisätä myös pienoismallin simulointi, erilaisilla asetuksilla. Simuloinnista saatuja tuloksia verrattiin realistisen kohteen laskelmista saatuihin tuloksiin. Näitä lukuarvoja vertailtiin ja analysointiin työn tuloksia varten.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli

- perehtyä Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D5:n luonnokseen ja laskea sen mukaan omakotitalon energiakulutus
- määrittää pientalon E-luvun
- tutkia energian kulutuksen jakautumista eri osa-alueille, kuten esim. lämmitys, käyttöveden lämmitys, ilmanvaihto ja kuluttajalaitteet

- tehdä omakotitalon suunnitelmien mukaan 1:10 oleva malli, johon sijoitetaisiin talotekniikkaa
- tutkia laskennallisten tulosten ja pienoismallista saatujen tulosten vertailukelpoisuutta
- ja käyttää työtä mahdollisesti hyväksi suunniteltaessa tulevia kursseja, jotka liittyvät uudistuvaan D5-osaan.

1.3 Rajaus

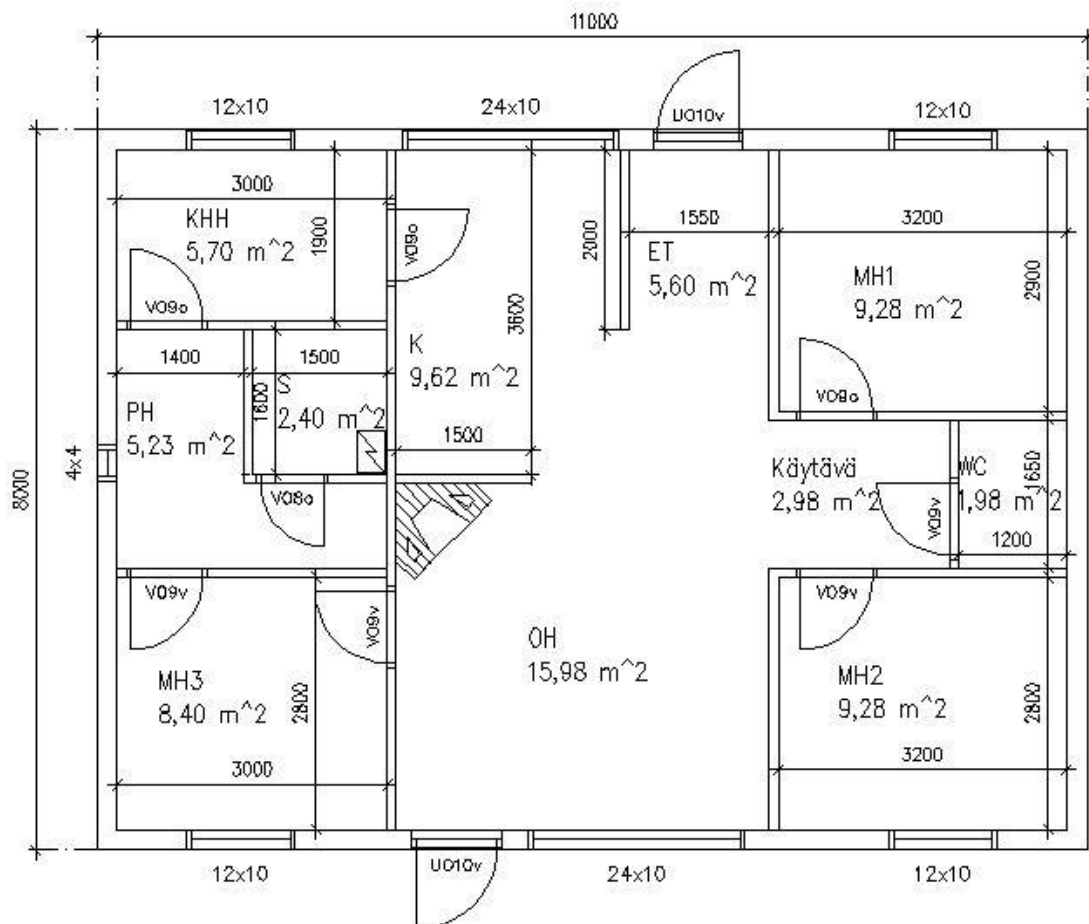
Työn energiatehokkuuden ja lämmitystehon tarpeen laskelmissa käsitellään realistisen kokoista omakotitaloa, joka sisältää normaalin talotekniikan sekä yleisimmät käyttölaitteet. Pienoismallin laskelmissa käytettiin Suomen ympäristöministeriön verkkosivuilta saatavaa Excel-pohjaista Tasauslaskinta, joka perustuu vuoden 2010 määräyksiin. Tasauslaskimesta saatuja tuloksia (liitteessä 1) käytettiin vain antamaan suuntaa pienoismallin seinärakenteille ja niiden materiaaleille.

Laskennan osalta työssä painotettiin vain rakennustekniikkaa käsitteleviä osia. Näin ollen talotekniikka mm. LVI-tekniset, laskelmat suoritettiin tavallisesti vain ohjeellisilla lukuarvoilla. Tämä rajaus tehtiin siksi, että työn laajuus ja vaativuus-taso pysyisivät hallittavissa.

2 Omakotitalon rakenteet

Opinnäytetyössä suunnitellun omakotitalon malli (kuva 1) pyrittiin pitämään mahdollisimman yksinkertaisena. Rakennuksesta päätettiin tehdä suorakaiteen muotoinen ja yksikerroksinen, koska talon toteuttaminen pienoismallina olisi helpompaa. Väliseinien rakennuslinjat pyrittiin samaan mahdollisimman yhteäisiksi koko talon läpikulkeviksi seinälinjoiksi. Pientalon rakenteet toimivat mallina pienoismallitalon rakenteille. Vapaa huonekorkeus talossa on 2,5 m. Talon seinälinjoja suunniteltaessa ei kiinnitetty huomiota tilasuunnitteluun.

Rakennusosien rakenteiden suunnittelussa pyrittiin pitämään rakennusosat mahdollisimman yksinkertaisina. Tämä johtui siitä, että niiden muuntaminen pienoismallitalon rakenteiksi olisi mahdollisimman yksinkertaista. Omakotitalon rakenneratkaisujen tuli kuitenkin täyttää niille asetetut vaatimukset ja määräykset, eivätkä ne saa vaarantaa rakennuksen asumisterveyttä.

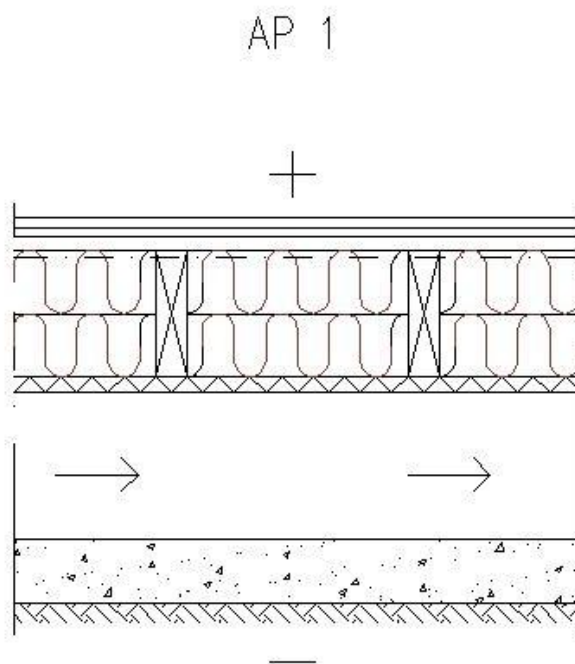


Kuva 1. Rakennuksen pohjapiirustus pohjois-eteläsuunnassa

Kaikkien omakotitalossa käytettyjen rakenteiden tuli täyttää Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 rakenteille määrätyt U-arvojen vertailuarvot (D3, s. 13).

2.1 Alapohja

Alapohja talossa on ryömintätilaan rajoittuva, mikä tarkoittaa tuulettuvaa alapohjaa (kuva 2). Tuulettuvassa alapohjassa ilma vaihtuu maanpinnan ja alapohjan välisessä tilassa sokkeliin tehtyjen tuuletusaukkojen avulla. Alapohja on puurakenteinen ja lämmöneristeenä on käytetty mineraalivillaa, josta on tehty myös alapohjan tuulensuojalevy. Ryömintätilaan rajoittuvalle alapohjalle asetettu U-arvon vertailuarvo on $U \leq 0,17 \text{ W/K} \cdot \text{m}^2$ (D3, s. 13).



Rakenne ylhäältä alaspäin:

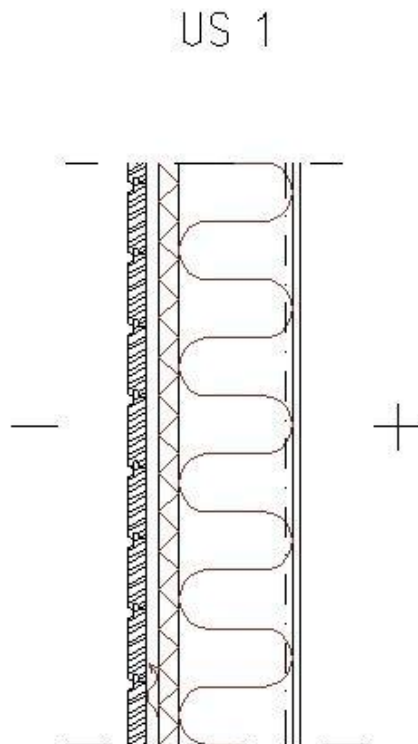
	Lattian pintamateriaali
2x15 mm	Lattialevy, levysaumot limitetään
22 mm	Harvalauditus 22x100 k300, Höyrinsulkumuovi
200 mm	Lämmöneriste+ lattia kannattimet 50x200 k400
25 mm	Tuulensuojavilla
>800 mm	Tuulettu ryömintätila
	Kapillaarisen vedennousun katkaiseva kierros, Perusmaa

U-arvo=0,17 W/m²K

Kuva 2. Ryömintätilaan rajoittuvan alapohjarakenteen rakenneleikkaus (Saint Gobain, 2012).

2.2 Ulkoseinät

Talon ulkoseinät ovat puurunkoisia ja lämmöneristeenä toimii mineraalivilla (kuva 3). Rungon paksuus on 175 mm ja rungon ulkopuolelle asennetaan 30 mm paksu mineraalivillasta valmistettu tuulensuojalevy. Rungon sisäpintaan asennetaan höyrynsulkumuovi ja höyrynsulkumuovin sisäpuolelle 13 mm paksu erikoiskova kipsilevy. Ulkoverhous talossa on ulkoverhouslautaa, ulkoverhouksen sisäpuolelle jätetään 22 mm leveä tuuletusrako. Ulkoverhouksen lämmönläpäisykerroin on huomioitu ulkopuolisessa pintavastuksessa. Ulkoseinille asetettu U-arvon vertailuarvo on $U \leq 0,17 \text{ W/K} \cdot \text{m}^2$ (D3, sivu 13).



Rakenne ulkoa sisällepäin:

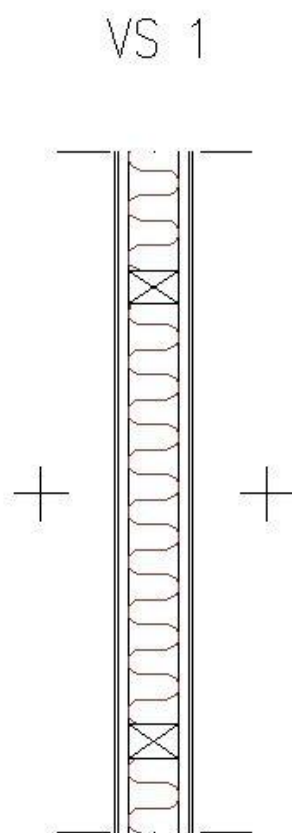
22 mm	Koolaus 22x100 k600, tuuletusrako
30 mm	Tuulensuoja ja lämmöneriste
175 mm	Lämmöneriste ja kantava runko k600
	Höyrynsulkumuovi
13 mm	Kipsilevy

$U=0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$

Kuva 3. Ulkoseinärakenteen rakenneleikkaus (Saint Gobain, 2012).

2.3 Väliseinät

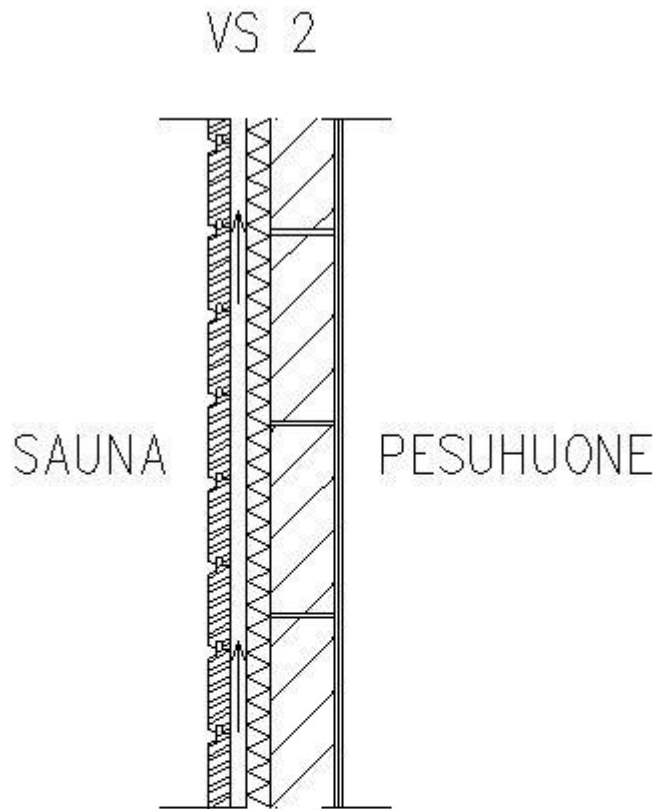
Talossa on raskaita ja kevyitä väliseiniä. Kevyiden väliseinien runkomateriaalina toimii 45*66 mm puutavara ja seinärakenne on eristetty mineraalivillalla, joka toimii väliseinässä myös ääneneristeenä (kuva 4). Kevyet väliseinät on levytetty kipsilevyllä molemmin puolin. Raskaat väliseinät tehdään paikallaan muurausten 85 mm paksusta Kahi-tiilestä (kuva 5). Raskaita väliseiniä talossa on pesuhuoneen ja saunan välinen seinä, ja takkaa ympäröivä seinä. Muut väliseinät ovat kevytrakenteisia väliseiniä.



Rakenne:

	Pintamateriaali
13 mm	Kipsilevy
66 mm	Puurunko 45x66
13 mm	Kipsilevy
	Pintamateriaali

Kuva 4. Kevytrakenteisen väliseinän rakenneleikkaus (Saint Gobain, 2012).



Rakenne:

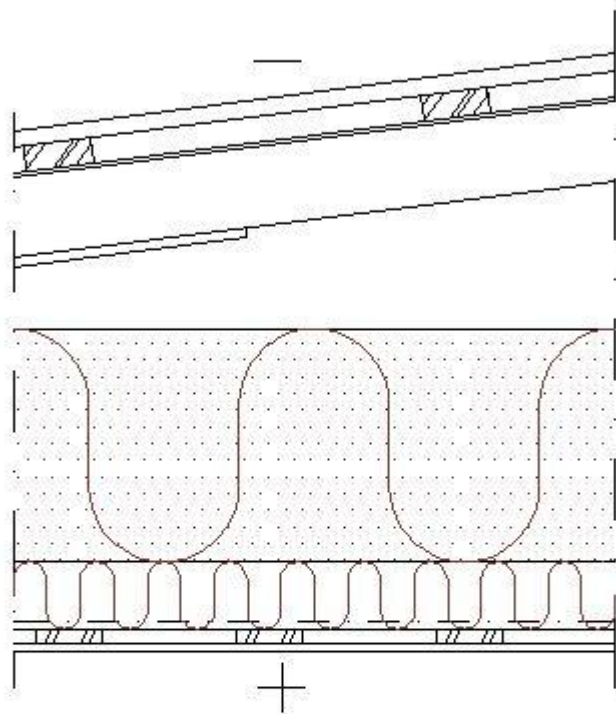
	Keraaminen laatta
	Seinätasoite
	Kosteussulku sively
85 mm	Kahi-väliseinätiili
30 mm	Lämmöneriste
	Alumiinitivistyspaperi
22 mm	Tuuletusrako
15 mm	Panelointi

Kuva 5. Saunan ja pesuhuoneen välisen raskasrakenteisen väliseinän rakenneleikkaus (Saint Gobain, 2012).

2.4 Yläpohja

Yläpohja talossa on puurakenteinen ja mineraalivillalla eristetty (kuva 6). Yläpohja on ns. tuulettuva yläpohja eli mineraalivillan ja vesikaton välissä pääsee kiertämään ilma, joka tuulettaa villatilaa. Koska yläpohja on tuulettuva, ei vesikatetta huomioida U-arvo laskelmissa. Yläpohjalle asetettu U-arvon vertailuarvo on $U \leq 0,09 \text{ W/K} \cdot \text{m}^2$ (D3, sivu 13).

YP 1



Rakenne ylhäältä alaspäin:

	Vesikate, aluskate ja ruoteet
	Tuuletettu ilmatila
350 mm	Puhallusvilla
100 mm	Kattokannattajat + Lämmöneriste
	Höyrinsulkumuovi
22 mm	Harvalaudoitus 22x100 k300
13 mm	Kipsilevy
	Pintakäsittely

U-arvo=0,09 W/m²K

Kuva 6. Yläpohjarakenteen rakenneleikkaus (Saint Gobain, 2012).

2.5 Ovet ja ikkunat

Rakennuksen ulko- ja väliovet ovat puurakenteisia umpiovia. Rakennuksessa on kaksi ulko-ovea, jotka molemmat ovat 1000 mm leveitä ja 2100 mm korkeita. Rakennuksessa on yhteensä kahdeksan väliovea. Kaikkien väliovien korkeus on 2100 mm, mutta leveyksissä on eroja. Väliovista kuusi on 900 mm leveitä ja kaksi on 800 mm leveitä. Ulko-oville ja ikkunoille asetettu U-arvo vaatimus on $U \leq 1,0 \text{ W/K} \cdot \text{m}^2$ (D3, sivu 13).

Rakennuksen ikkunat ovat aukeavia puu-alumiini-ikkunoita, joissa on kolminkertainen lasitus (kuva 7). Suurin osa ikkunoista on sijoitettu rakennuksen etelä- ja pohjois-sivuille, ainoastaan pesuhuoneen ulkoseinässä oleva ikkuna on länsisivulla. Ikkunat asennetaan lattiapinnasta 900 mm:n korkeuteen. Pienimmän ikkunan koko on 400*400 mm, muut ikkunat ovat kooltaan isompia, korkeus on kaikissa sama 1000 mm ja leveys on joko 1200 mm tai 2400 mm.



Kuva 7. Omakotitalon puu-alumiini-ikkuna (Pihlavan Ikkunat Oy, 2012).

2.6 Rakennuksen pinta-ala ja tilavuus

Rakennuksen pinta-alat määritettiin seuraavasti ja ne on esitetty taulukossa 1:

- Alapohjan, ulkoseinien (ulkoseinien pinta-alasta on vähennetty ovien ja ikkunoiden aukot) ja yläpohjan pinta-alat laskettiin rakennuksen sisämittojen mukaan
- Ikkunoiden ja ovien pinta-ala lasketaan aukkomitoilla, joka tarkoittaa sitä että ikkunan pinta-alaan lasketaan myös karmien paksuudet
- Rakennustilavuudella tarkoitetaan rakennuksen lämmintä ilmatilavuutta. Rakennustilavuus on 220 m³

Taulukko 1. Rakennuksen rakenneosien pinta-alat

Rakenneosa	Pinta-ala [m²]
Ulkoseinä	95
Yläpohja	88
Alapohja	88
Ikkunat	9,8
Ovet	4,2
Rakennuksen vaippa	285

3 Omakotitalon energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta

3.1 Tilojen lämmitysenergian nettotarve

Rakennuksessa olevat tilat vaativat yleensä lämmitystä. Näiden tilojen lämmitäminen vaatii energiaa. Suurin vaikutus rakennuksen energian tarpeeseen on rakenteiden läpi tai kautta johtuvilla lämpöhäviöillä. Lämpöhäviöihin vaikuttavia tekijöitä ovat rakenteiden lämmönläpäisykertoimet, pinta-alat, sisä- ja ulkolämpötilat ja ajan jakson pituus. Näiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta syntyy lämmitysenergian nettotarve. Rakennuksessa olevien tilojen lämmitysenergian nettotarve $Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$ lasketaan kaavalla 1. (D5, s. 17, kaava 3.1)

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis.lämpö}} \quad (1)$$

jossa

$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$

on tilojen lämmitysenergian nettotarve, kWh

Q_{tila}

on tilojen lämmitysenergian tarve, kWh

$Q_{\text{sis.lämpö}}$

on lämpökuormat, joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh

Tilojen yhteenlaskettu lämmitysenergian tarve Q_{tila} lasketaan kaavalla 2 (D5, s. 17, kaava 3.2).

$$Q_{\text{tila}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} \quad (2)$$

jossa

Q_{tila}

on tilojen lämmitysenergian tarve, kWh

Q_{joht}

on johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh

$Q_{\text{vuotoilma}}$

on vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh

3.2 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt

Rakennuksen vaippa tarkoittaa rakennusosia, joilla eristetään rakennuksentilat ulkoilmasta, maaperästä tai kylmästä tilasta. Vaippaan kuuluvat mm. rakennuksen ulkoseinät, ala- ja yläpohja. Rakennusvaipan läpi tapahtuu johtumislämpöhäviötä kaikkien rakenneosien kautta. Rakennusvaipan läpi tapahtuvat

johtumislämpöhäviöt Q_{joht} lasketaan rakenneosittain kaavalla 3 (D5, s. 18, kaava 3.3).

$$Q_{joht} = Q_{ulkoseinä} + Q_{yläpohja} + Q_{alapohja} + Q_{ikkuna} + Q_{ovi} + Q_{kylmäsiljat} \quad (3)$$

jossa

Q_{joht}	on johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh
$Q_{ulkoseinä}$	on johtumislämpöhäviö ulkoseinien läpi, kWh
$Q_{yläpohja}$	on johtumislämpöhäviö yläpohjien läpi, kWh
$Q_{alapohja}$	on johtumislämpöhäviö alapohjien läpi, kWh
Q_{ikkuna}	on johtumislämpöhäviö ikkunoiden läpi, kWh
Q_{ovi}	on johtumislämpöhäviö ulko-ovien läpi, kWh
$Q_{kylmäsiljat}$	on kylmäsiltojen johtumislämpöhäviö, kWh

Ulkoilmaan rajoittuvien rakenneosien kuten ulkoseinien, alapohjien, yläpohjien, ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöt (taulukko 2) lasketaan rakenneosittain kaavalla 4 (D5, s. 18, kaava 3.4).

$$Q_{rakosa} = \sum U_i * A_i * (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (4)$$

joissa

Q_{rakosa}	on johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi, kWh
U_i	on rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)
A_i	on rakennusosan i pinta-ala, m ²
T_s	on sisäilman lämpötila, °C
T_u	on ulkoilman lämpötila, °C
Δt	on ajanjakson pituus, h
1000	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Rakennosien U-arvot ovat Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta C3 sivulta 7 kohdasta 3.2.1.

Taulukko 2. Rakennuksen rakenneosien läpi tapahtuvien lämpöhäviöiden kuukausittainen arvo ja vuoden yhteislämpöhäviö

Kuukausi	Q _{ulkoseinä} [kWh]	Q _{yläpohja} [kWh]	Q _{alapohja} [kWh]	Q _{ikkunat} [kWh]	Q _{ovet} [kWh]	Yhteensä [kWh]
Tammikuu	336,44	164,99	311,65	204,15	87,49	1104,72
Helmikuu	294,11	144,23	272,44	178,47	76,49	965,74
Maaliskuu	282,73	138,65	261,89	171,56	73,53	928,36
Huhtikuu	204,42	100,25	189,36	124,04	53,16	671,23
Toukokuu	134,09	65,76	124,21	81,37	34,87	440,31
Kesäkuu	76,86	37,69	71,20	46,64	19,99	252,38
Heinäkuu	50,95	24,98	47,19	30,91	13,25	167,29
Elokuu	74,98	36,77	69,45	45,50	19,50	246,19
Syyskuu	125,81	61,70	116,54	76,35	32,72	413,12
Lokakuu	191,41	93,87	177,30	116,15	49,78	628,51
Marraskuu	253,03	124,08	234,38	153,54	65,80	830,83
Joulukuu	311,44	152,73	288,50	188,99	80,99	1022,66
Yhteensä	2 336,27	1 145,71	2 164,12	1 417,67	607,57	7671,35

Tarkempi laskentaesimerkki tammikuun osalta on liitteessä 2.

Myös kylmäsillat aiheuttavat lämpöhäviöitä rakennuksen vaipasta. Kylmäsilta on talon vaipassa oleva kohta, jonka kautta lämpöhäviö on merkittävästi suurempi kuin ympäröivällä samanlaisella pinnalla. Kylmäsiltoja esiintyy yleensä rakennuksen pitkissä liitoksissa, kuten ylä- ja alapohjan sekä ulkoseinän liitoksessa. Rakennuksissa on myös pistemäisiä kylmäsiltoja, joita voi esiintyä esimerkiksi ulkoseinän rungon ja koolauksen risteyskohtiin. Kylmäsiltoja pyritään välttämään rakennuksissa mm. erilaisilla rakenteilla kuten välttämällä koko vaipan läpikulkevia rakenteita. Laskentaa tehdään vain lämpöhäviöihin merkittävästi vaikuttavien kylmäsiltojen kohdalta.

Liitosten aiheuttamien kylmäsiltojen lämpöhäviöt (taulukko 3) lasketaan kaavalla 5 (D5, s. 18, kaava 3.5).

$$Q_{\text{kylmäsilta}} = \sum l_k * \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (5)$$

jossa

$Q_{\text{kylmäsilta}}$

l_k

Ψ_k

T_s

T_u

on johtumislämpöhäviö kylmäsiltojen läpi, kWh

on viivamaisen kylmäsiltojen pituus, m

on viivamaisen kylmäsiltojen lisäkonduktanssi, W/(m K)

on sisäilman lämpötila, °C

on ulkoilman lämpötila, °C

Δt on ajanjakson pituus, h
 1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Taulukko 3. Rakennuksen kylmäsiltojen läpi johtuvat lämpöhäviöt kuukausittain

Kuukausi	$Q_{\text{kylmäsilta, yläpohja}}$ [kWh]	$Q_{\text{kylmäsilta, alapohja}}$ [kWh]	$Q_{\text{kylmäsilta, aukot}}$ [kWh]	Yhteensä [kWh]
Tammikuu	37,58	45,10	18,53	101,21
Helmikuu	32,85	39,42	16,20	88,48
Maaliskuu	31,58	37,90	15,57	85,05
Huhtikuu	22,83	27,40	11,26	61,50
Toukokuu	14,98	17,97	7,39	40,34
Kesäkuu	8,59	10,30	4,23	23,12
Heinäkuu	5,69	6,83	2,81	15,33
Elokuu	8,38	10,05	4,13	22,56
Syyskuu	14,05	16,86	6,93	37,85
Lokakuu	21,38	25,66	10,54	57,58
Marraskuu	28,26	33,92	13,94	76,12
Joulukuu	34,79	41,75	17,16	93,69
Yhteensä	260,97	313,16	128,69	702,82

Tarkempi laskentaesimerkki johtumishäviöiden osalta on liitteessä 3.

Yhteenlaskettu johtumislämpöhäviö rakennuksen vaipan läpi (taulukko 4) lasketaan kaavalla 6 (D5, s. 18, kaava 3.3) ja on esitetty taulukossa 4 kuukausitasolla.

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{ulkoseinä}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{ikkuna}} + Q_{\text{ovi}} + Q_{\text{kylmäsiltilat}} \quad (6)$$

Taulukko 4. Rakennuksen yhteenlaskettu johtumislämpöhäviö rakennuksen vaipan läpi kuukausittain

Kuukausi	Q_{joht} [kWh]
Tammikuu	1 205,93
Helmikuu	1 054,22
Maaliskuu	1 013,41
Huhtikuu	732,73
Toukokuu	480,65
Kesäkuu	275,50
Heinäkuu	182,61
Elokuu	268,75
Syyskuu	450,97
Lokakuu	686,09
Marraskuu	906,95
Joulukuu	1 116,35
Yhteensä	8 374,16

3.3 Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve

Rakenteiden epätiiviyksien kautta tulevan vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energia $Q_{\text{vuotoilma}}$ lasketaan kaavalla 7 (D5, s. 21, kaava 3.8).

$$Q_{\text{vuotoilma}} = \rho_i * c_{pi} * q_{v,\text{vuotoilma}} * (T_s - T_u) * \Delta t / 1\,000 \quad (7)$$

jossa

$Q_{\text{vuotoilma}}$	on vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
ρ_i	on ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v,\text{vuotoilma}}$	on vuotoilmavirta, m ³ /s
T_s	on sisäilman lämpötila, °C
T_u	on ulkoilman lämpötila, °C
Δt	on ajanjakson pituus, h
1000	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Vuotoilmavirta $q_{v,\text{vuotoilma}}$ lasketaan kaavalla 8 (D5, s. 21, kaava 3.9)

$$q_{v,\text{vuotoilma}} = \frac{q_{50}}{3\,600 * X} * A_{\text{vaippa}} \quad (8)$$

jossa

$q_{v,\text{vuotoilma}}$	on vuotoilmavirta, m ³ /s
q_{50}	on rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)

A_{vaippa}	on rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), m^2
X	on kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35 (D5, s. 21).
3600	on kerroin, joka muuttaa ilmavirran m^3/h yksiköstä m^3/s yksikköön.

Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} voidaan laskea ilmanvuotoluvusta n_{50} kaavalla 9 (D5, s. 22, kaava 3.10)

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{vaippa}} * V \quad (9)$$

jossa	
q_{50}	on rakennusvaipan ilmanvuotoluku, $m^3/(h m^2)$
n_{50}	on rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, 1/h
V	on rakennuksen ilmatilavuus, m^3
A_{vaippa}	on rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), m^2

Laskelmissa rakennuksen ilmanvuotoluvun n_{50} arvona käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 määrittelemää ohjearvo. Opinnäytetyössä suunniteltu talo on ilmanpitävyyden osalta keskimääräisellä tasolla, jonka johdosta D5 määrittää pientalolle n_{50} -arvoksi 3,0- 5,0 1/h (D5, 2012, s. 22, taulukko 3.6). Laskelmissa käytetään D5:n antamien arvojen keskiarvoa 4,0 1/h. Ilmanpitävyyden osalta keskimääräiseksi luokitellaan talo, jonka ilmanpitävyys on huomioitu tavanomaisesti sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa (Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D5, sivu 22). Rakennusvaipan pinta-ala A_{vaippa} on määritetty rakennuksen sisämittojen mukaan. Tarkempi laskentaesimerkki vuotoilman lämpenemisen tarvitsemasta energiasta (taulukko 5) tammikuussa on esitetty liitteessä 4.

Taulukko 5. Vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energia kuukausittain

Kuukausi	Q _{vuotoilma} [kWh]
Tammikuu	174,99
Helmikuu	152,97
Maaliskuu	147,05
Huhtikuu	106,32
Toukokuu	69,75
Kesäkuu	39,98
Heinäkuu	26,50
Elokuu	39,00
Syyskuu	65,44
Lokakuu	99,56
Marraskuu	131,60
Joulukuu	161,99
Yhteensä	1 215,15

3.4 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve

Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeella tarkoitetaan ilmanvaihtokoneessa tapahtuvan tuloilman lämmittämiseen tarvittavan energia määrää. Rakennuksen tuloilma otetaan ulkoilmasta ja sen lämmitys tapahtuu ilmanvaihtokoneessa. Tuloilman määrä ja sen lämmityksen tarpeellisuus on rakennuskohtaista ja laskettava jokaiselle rakennukselle erikseen. Laskenta suoritetaan kuukausitasolla, eli jokaiselle kuukaudelle määritetään tuloilman lämmitykseen tarvittava energiamäärä. Tällä tavalla kuukausien keskilämpötilojen vaihtelut otetaan huomioon lämmityksen mitoituksessa. Koska rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltu siten, että ilmanvaihtovirta on vakio ja ilmapölyprosessiin koostuu vain ilman lämmityksestä, lasketaan ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve tässä luvussa esitetyllä menetelmällä kaavalla 10 (D5, s. 23, kaava 3.11).

$$Q_{iv} = t_d * t_v * \rho_i * c_{pi} * q_{v,tulo} * \left((T_{sp} * \Delta T_{puhallin}) - T_{lto} \right) * \frac{\Delta t}{1\,000} \quad (10)$$

jossa

Q _{iv}	on ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh
t _d	on ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhte, h/24 h
t _v	on ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhte, vrk/7 vrk
ρ _i	on ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c _{pi}	on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 000 J/(kg K)
q _{v,tulo}	on tuloilmavirta, m ³ /s

T_{sp}	on sisäänpuhallus lämpötila, °C
$\Delta T_{puhallin}$	on lämpötilan nousu puhaltimessa, °C
T_{lto}	on lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C
Δt	on ajanjakson pituus, h
1 000	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Koska kyseessä oleva rakennus on omakotitalo, ajatellaan ilmanvaihtojärjestelmän olevan päällä 24 h vuorokaudessa, jolloin vuorokautiseksi ja viikoittaiseksi käyntiaikasuhteeksi tulee 1. Tuloilmavirran $q_{v,tulo}$ määrän laskemiseen tarvitaan tieto siitä, kuinka monta kertaa tunnissa rakennuksen koko sisäilman on vaihdettava, tätä lukua kutsutaan ilmanvuotoluvuksi. Näissä laskelmissa käsiteltävän rakennuksen ilmanvuotoluku on 0,5 1/h, eli rakennuksen sisäilma vaihtuu kokonaan kerran kahdessa tunnissa. Lisäksi tulee tuntea rakennuksen lämmin ilmatilavuus, joka on kyseisessä rakennuksessa 220 m³. Tästä saadaan vaihdettavan ilman määräksi 110 m³ tunnissa ja koska laskelmissa tarvitaan sekunnissa vaihdettava ilmamäärää tulee 110 m³ jakaa 3 600:lla, jolloin tuloilmavirran $q_{v,tulo}$ arvoksi saadaan 0,031 m³/s. Sisäänpuhalluslämpötilalla tarkoitetaan rakennuksen sisälle ilmanvaihtokoneesta puhallettavan ilman lämpötilaa. Sisäänpuhalluslämpötilalle T_{sp} käytetään arvoa 20 °C, eli tuloilmaa ei tarvitse lämmitää enää sen jälkeen kun se johdetaan rakennuksen sisälle koska koko lämmitysprosessi hoidetaan ilmanvaihtokoneessa.

Lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila riippuu ulkoilman lämpötilasta ja sen arvot on määritetty ilmanvaihtokoneen esitteessä, joka on esitetty liitteessä 5. Ulkoilmalle käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelma D3:ssa määritettyjä kuukausikohtaisia lämpötilan keskiarvoja, jotka on esitetty liitteessä 6. Koska, käytettävissä olevat lähtötiedot eivät ole tarpeeksi tarkkoja käytetään puhaltimessa tapahtuvalle lämpötilan nousulle $\Delta T_{puhallin}$ arvoa 0,5 °C (D5, s.24). Koska tarkastelu suoritetaan kuukausitasolla, käytetään ajanjakson pituudelle ΔT kuukausikohtaista arvoja (liite 7). Kuukausittainen ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve kuukausittain

Kuukausi	Q_{iv} [kWh]	Q_{iv} [kWh]
Tammikuu	113,47	113,47
Helmikuu	97,49	97,49
Maaliskuu	91,33	91,33
Huhtikuu	58,92	58,92
Toukokuu	27,68	27,68
Kesäkuu	-13,39	0,00
Heinäkuu	-13,84	0,00
Elokuu	-13,84	0,00
Syyskuu	21,43	21,43
Lokakuu	49,82	49,82
Marraskuu	77,67	77,67
Joulukuu	102,40	102,40
	Yhteensä	640,23

Koska kesä-, heinä-, ja elokuussa lämmitysenergian nettotarpeeksi saadaan negatiivinen luku, käytetään näille kuukausille lukuarvoa nolla. Lukuarvoa nolla käytetään sen takia, että tuloilmaa ei kesä-, heinä- ja elokuussa tarvitse lämmitellä vaan päinvastoin sitä tulisi jäähdyttää ennen rakennukseen puhaltamista. Rakennuksessa olevassa ilmanvaihtokoneessa ei kuitenkaan ole jäähdytystä joten tästä syystä käytämme näille kuukausille lukuarvoa nolla. Lämmitysenergian nettotarpeeksi saimme,

$$Q_{iv} = 640,23 \text{ kWh.}$$

3.5 Tilojen lämmitysenergian nettotarpeen yhteenveto

Tilojen yhteenlaskettu lämmitysenergian tarve Q_{tila} lasketaan kaavalla 2 ja on esitetty kuukausitasolla taulukossa 7.

Taulukko 7. Tilojen yhteenlaskettu lämmitysenergian tarve kuukausittain

Kuukausi	Q_{joht} [kWh]	$Q_{\text{vuotoilma}}$ [kWh]	Q_{tila} [kWh]
Tammikuu	1 205,93	174,99	1 380,92
Helmikuu	1 054,22	152,97	1 207,19
Maaliskuu	1 013,41	147,05	1 160,47
Huhtikuu	732,73	106,32	839,05
Toukokuu	480,65	69,75	550,40
Kesäkuu	275,50	39,98	315,48
Heinäkuu	182,61	26,50	209,11
Elokuu	268,75	39,00	307,75
Syyskuu	450,97	65,44	516,41
Lokakuu	686,09	99,56	785,64
Marraskuu	906,95	131,60	1 038,55
Joulukuu	1 116,35	161,99	1 278,34
		Yhteensä	9 589,31

3.6 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve

Lämpimän käyttöveden lämmittämiseen käytetty energia $Q_{Ikv,netto}$ on merkittävä osa koko rakennuksen energian kulutuksessa, jopa 40 % kokonaiskulutuksesta. Lämpimän käyttöveden kulutukseen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. käyttäjäkohtaiset tottumukset ja eritoten käyttäjien lukumäärä. Rakentamismääräyskokoelmassa henkilöperusteisena kulutusarvona käytetään $60 \text{ dm}^3/\text{henkilö}$ kun huoneistossa ei ole käytössä huonekohtaista mittausta ja laskutusta (D5, s. 27, 3.7.2). Lämpimän ja kylmän veden lämpötilaerona $T_{Ikv} - T_{kv}$ voidaan rakentamismääräyskokoelman mukaan käyttää arvoa 50 °C jos muuta perusteltua syytä ei ole (D5, s. 27, 3.7.2).

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve $Q_{Ikv,netto}$ lasketaan kaavalla 11 (D5, s. 26, kaava 3.18).

$$Q_{Ikv,netto} = \rho_v * c_{pv} * V_{Ikv} * \frac{T_{Ikv} - T_{kv}}{3600} - Q_{Ikv,LTO} \quad (11)$$

jossa

$Q_{Ikv,netto}$	on lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh
ρ_v	on veden tiheys, 1000 kg/m^3
c_{pv}	on veden ominaislämpökapasiteetti, $4,2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
V_{Ikv}	on lämpimän käyttöveden kulutus, m^3
T_{Ikv}	on lämpimän käyttöveden lämpötila, $^{\circ}\text{C}$
T_{kv}	on kylmän käyttöveden lämpötila, $^{\circ}\text{C}$

3600 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h
 $Q_{ikv, LTO}$ on jäteveden lämmöntalteenotolla talteenotettu ja käyttöveden lämmityksessä hyväksikäytetty energia, kWh

Rakennuksessa ei ole jäteveden lämmöntalteenottoa, joten sen lukuarvo on 0. Liitteessä 8 esitetyn laskelman mukaan lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeeksi saimme,

$$Q_{ikv, netto} = 5\,110 \text{ kWh/a.}$$

4 Laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus

Rakennuksessa olevat laitteet ja valaistus aiheuttavat noin 40 % (Kotitalouksien sähkönkäyttö raportti, 2006) koko rakennuksen sähkönkulutuksesta, joten se on merkittävä osa E-luvun määrittämisen kannalta.

Suomen rakentamismääräyskokoelman antamien arvojen mukaan pientalon kulutus on 1780 kWh kun asuinrakennuksesta löytyy sille tyypilliset laitteet. Näitä ovat mm. liesi, mikroaaltouuni, kahvinkeitin, astianpesukone, jääkaappipakastin, pyykinpesukone, viihde-elektroniikka; TV, soitin ja PC. Huoneistosauna lisää kulutusta 8 kWh/lämmityskerta, keskimääräinen lämmitystiheys olkoon kerran viikossa, eli 416 kWh (D5, s. 28, taulukko 4.2). Kokonaisuudessa laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus vuodessa on 2 196 kWh. Kuluttajalaitteiden sähkönkulutus vuodessa on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Kuluttajalaitteiden sähkönkulutus

Kuluttajalaite	Kulutus [kWh]
Liesi	520
Mikroaaltouuni	55
Kahvinkeitin	70
Astianpesukone	250
Jääkaappipakastin	270
Pyykinpesukone	240
TV	200
Video	95
PC	80
Sauna, 1/vko	416
Yhteensä	2 196

4.1 Käytettävien lampputyypien laskenta valaistusvoimakkuuksittain

Seuraavien laskelmien lähtötietoina käytettiin asiantuntijan, Venäläinen Antti, sähköinsinööri, antamia tietoja, joiden perusteella erilaisten lampputyypien ja näiden valaistusvoimakkuuksien valinnat oli tehty.

Valaistuksen sähköenergian kulutus $W_{valaistus}$ lasketaan seuraavalla kaavalla 12 (D5, s. 29, kaava 4.1).

$$W_{valaistus} = \sum P_{valaistus} * A_{huone} * \Delta t * f / 1000 \quad (12)$$

jossa

$W_{valaistus}$

on valaistuksen sähköenergian kulutus, kWh

$P_{valaistus}$

on valaistavan tilan valaistuksen kokonaissähköteho huonepinta-alaa kohti, W/hum²

A_{huone}

on valaistavan tilan huonepinta-ala, hum²

Δt

on valaistuksen käyttöaika, 550 h (D5, taulukko 4.3)

f

on valaistuksen ohjaustavasta riippuvia ohjauskertoimia

Valaistuksen kokonaisteho $P_{valaistus}$ neliometriä kohden lasketaan kaavalla 13 (D5, s. 30, kaava 4.2).

$$P_{valaistus} = \frac{1}{\beta * \eta * \eta_{\phi}} * E_i \quad (13)$$

jossa

$P_{valaistus}$

on valaistavan tilan valaistuksen kokonaissähköteho huonepinta-alaa kohti, W/hum²

E_i

on tilan i valaistusvoimakkuus, lx

β

on valaistuksen alenemakerroin:

– puhdas ympäristö 0,70 (D5, s. 29)

η

on valaistushyötysuhde:

– yhdistetty suora-epäsuora valaistus 0,35 (D5, s. 30)

η_{ϕ}

on lamppujen valotehokkuus, lm/W

Taulukko 9. Valaisimien teho lampputyypeittäin eri kirkkauksilla

Valaistusteho, lampputyyppi	Teho [W/hum ²]
P valaistus, 300lx, pienloistelamppu	1,71
P valaistus, 500lx, pienloistelamppu	2,94
P valaistus, 300lx, halogeeni	30,27
P valaistus, 100lx, hehkulamppu	14,69

Taulukossa 9 on esitetty valaistuksen teho huoneneliötään erilaisilla lampputyypeillä ja kirkkausvaatimuksilla. Tarkempi laskentaesimerkki valaistuksen tehosta lampputyypeittäin on esitetty liitteessä 9.

4.2 Huonekohtainen valaistustehon laskenta

Rakennuksessa on erilaisia tiloja, joilla on tietyt vaatimukset kirkkauden suhteen. On alueita missä vaaditaan erityisen suuria kirkkauksia, 500 luxia, kuten keittiö ja pesuhuoneet. Paljon käytössä olevilla alueilla on normaali, 300 luxia, kirkkausvaatimus, kuten olohuoneessa ja makuuhuoneissa. Alhaisia vaatimuksia, 100 luxia, on alueilla missä valaistusta ei juuri tarvita, kuten sauna.

Huonekohtainen valaistusteho on esitetty taulukossa 10 ja laskentaesimerkki on esitetty liitteessä 10.

Taulukko 10. Huonekohtainen valaistusteho

Tila	Huoneala [m ²]	Teho [W/hum ²]	Valaistusteho [kWh]
Olohuone	15,98	30,27	239,44
Keittiö	9,62	2,94	14,00
Kodinhuoltohuone	5,7	2,94	8,30
Pesuhuone	5,23	2,94	7,61
Sauna	2,4	14,69	17,45
Eteinen	5,6	1,71	4,74
WC	1,98	2,94	2,88
Makuuhuone 1	9,28	1,71	7,86
Käytävä	2,98	1,71	2,52
Makuuhuone 2	9,28	1,71	7,86
Makuuhuone 3	8,4	1,71	7,11
		Yhteensä	319,76

5 Lämpökuormat

5.1 Lämpökuorma henkilöistä

Rakennuksessa olevista henkilöistä vapautuu lämpöä, joka vähentää lämmitystarvetta. Lämmitystarpeeseen vaikuttavia tekijöitä ovat henkilöiden määrä ja heidän oleskelunsa rakennuksessa.

Henkilöiden luovuttama lämpöenergia Q_{henk} lasketaan kaavalla 14 (D5, s. 31, kaava 5.1).

$$Q_{henk} = k * n * \phi_{henk} * \Delta t_{oleskelu} / 1000 \quad (14)$$

jossa

Q_{henk}	on henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh
k	rakennuksen käytönaikainen käyttöaste, joka kuvaa ihmisten keskimääräistä läsnäoloa rakennuksessa
n	on henkilöiden lukumäärä
ϕ_{henk}	on yhden henkilön luovuttama keskimääräinen lämpöteho (ei sisällä haihtumislämpöä), W/henkilö
$\Delta t_{oleskelu}$	on oleskeluaika, h
1000	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Yhden henkilön luovuttamana lämpötehona voidaan käyttää arvoa 70 W (D5, sivu 31).

Oleskeluaika $\Delta t_{oleskelu}$ laskettiin kaavalla 15 (D5, s. 32, kaava 5.2).

$$\Delta t_{oleskelu} = \sum t_d * t_v * \Delta t \quad (15)$$

jossa

$\Delta t_{oleskelu}$	on oleskeluaika, h
t_d	on rakennuksen keskimääräinen vuorokautinen käyttöaikasuhde, h/24 h
t_v	on rakennuksen keskimääräinen viikoittainen käyttöaikasuhde, vrk/7 vrk
Δt	laskentajakson pituus, h

Keskimääräiseksi vuorokautiseksi käyttöajaksi rakennuksessa asetettiin 16 tuntia ja viikoittaiseksi käyttöajaksi asetettiin 7 vuorokautta. Laskentaesimerkki on esitetty liitteessä 11.

Henkilöiden luovuttamaksi lämpöenergiaksi kuukaudessa laskimme,

$$Q_{henk} = 100,8 \text{ kWh/kk}$$

Laskentaesimerkki on esitetty liitteessä 12.

5.2 Lämpökuorma valaistuksesta ja sähkölaitteista

Valaistuksen ja sähkölaitteiden yhteen laskettu lämpökuorma lasketaan kaavalla 16 (D5, s. 32, kaava 5.3).

$$Q_{säh} = W_{valaistus} + W_{kuluttajalaitteet} \quad (16)$$

jossa

$Q_{säh}$	on valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma, kWh
$W_{valaistus}$	on valaistusjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
$W_{kuluttajalaitteet}$	on kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus, kWh

Taulukko 11. Valaistuksesta ja laitteista tuleva lämpökuorma

Tila	Valaistusteho [kWh]	Kuluttajalaite	Kulutus [kWh]
Olohuone	239,44	Liesi	520
Keittiö	14,00	Mikroaaltouuni	55
Kodinhuoltohuone	8,30	Kahvinkeitin	70
Pesuhuone	7,61	Astianpesukone	250
Sauna	17,45	Jääkaappipakastin	270
Eteinen	4,74	Pyykinpesukone	240
WC	2,88	TV	200
Makuuhuone 1	7,86	Video	95
Käytävä	2,52	PC	80
Makuuhuone 2	7,86	Sauna, 1/vko	416
Makuuhuone 3	7,11	Yhteensä	2 196
Yhteensä	319,76		

Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden yhteenlaskettu lämpökuorma (taulukko 11) lasketaan kaavalla 16, tulokseksi saadaan

$$Q_{säh} = 2\,515,76 \text{ kWh.}$$

Jos valaistuksen ja kuluttajalaitteiden käyttö jaetaan tasaisesti joka kuukaudelle saadaan kuukausikuormaksi

$$Q_{säh,kuukausi} = \frac{2\,515,76 \text{ kWh}}{12 \text{ kk}} = 209,65 \text{ kWh/kk.}$$

5.3 Ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan auringon säteilyenergia

Säteilyenergiaksi luetaan ikkunoista rakennuksen sisälle suoraan tuleva sekä välillisesti ikkunaan absorboituneena lämpönä rakennukseen tuleva energia. Ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan auringon säteilyenergia Q_{aur} lasketaan kaavalla 17 (D5, s. 32, kaava 5.4).

$$Q_{aur} = G_{säteily,vaakapinta} * F_{suunta} * F_{läpäisy} * A_{ikk} * g \quad (17)$$

jossa

Q_{aur}

on ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh/kk

$G_{\text{säteily, vaakapinta}}$	on vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti, kWh/(m ² kk)
F_{suunta}	on muuntokerroin, jolla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan ilmansuunnittain pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi
$F_{\text{läpäisy}}$	on säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin, laskelmissa käytetään arvoa 0,75 koska rakennuksessa ei ole varjostuksia tai pysyviä verhoja (D5, 2012, s. 33)
A_{ikk}	on ikkuna-aukon pinta-ala (kehys- ja karmirakenteiden), m ²
g	on ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin

Ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin g lasketaan kaavalla 18 (D5, 2012, s. 33, kaava 5.5)

$$g = 0,9 * g_{\text{kohtisuora}} \quad (18)$$

jossa

g	on ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin
$g_{\text{kohtisuora}}$	on ikkunan valoaukon kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin, koska rakennuksessa on yksipuutteiset kolmilasiset ikkunat, käytetään arvoa $g_{\text{kohtisuora}} = 0,70$ (D5, 2012, s. 33)

$$g = 0,9 * 0,70$$

$$g = 0,63$$

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3 antaa vaakatasolle tulevan auringon kokonaissäteilyenergialle pinta-ala yksikköä kohti $G_{\text{säteily, vaakapinta}}$ kuukausikohtaisia arvoja jotka on esitetty liitteessä 6. Muuntokertoimien F_{suunta} arvot, joilla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi, määritetään ilmansuunnittain. D3 määrittää muuntokertoimille arvot, jotka on esitetty liitteessä 6. Tammikuun laskenta on esitetty liitteessä 13 ja muiden kuukausien osalta tulokset on esitetty ilmansuunnittain taulukossa 18 liitteessä 14. Vuodessa ikkunoiden kautta tuleva auringon säteilyenergia on esitetty ilmansuunnittain taulukossa 12.

Taulukko 12. Ikkunoiden kautta tuleva auringon säteilyenergia vuodessa

Ilmansuunta	Q_{aur} [kWh]
Pojoinen	948,01
Itä	0,00
Etelä	1840,29
Länsi	45,75
Yhteensä	2 834,05

5.4 Lämpökuormista hyödynnettävä lämpöenergia

Rakennukseen kohdistuvista lämpökuormista voidaan osa hyödyntää rakennuksen lämmityksessä. Hyödyntämisen edellytyksenä on, että samaan aikaan on lämmitystarvetta ja että säätölaitteet vähentävät muuta lämmöntuottoa samalla määrällä. Rakennuksen lämpökuorma lasketaan kaavalla 19 (D5, s. 36, kaava 5.9). Tässä luvussa käsiteltujen kaavojen mukainen laskenta on esitetty tammikuun osalta liitteessä 15.

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{henk}} + Q_{\text{säh}} + Q_{\text{aur}} \quad (19)$$

jossa

$Q_{\text{lämpökuorma}}$

on rakennuksen lämpökuorma, kWh

Q_{henk}

on henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh

$Q_{\text{säh}}$

on valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma, kWh

Q_{aur}

on ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh

Auringosta, henkilöistä ja sähkölaitteista aiheutuva lämpökuorma kuukausittain on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Kuukausittainen lämpökuorma auringosta, henkilöistä ja sähkölaitteista

Kuukausi	Q_{aur} [kWh]	Q_{henk} [kWh]	$Q_{säh}$ [kWh]	$Q_{lämpökuorma}$ [kWh]
Tammikuu	33,87	100,80	209,65	344,31
Helmikuu	143,51	100,80	209,65	453,95
Maaliskuu	249,55	100,80	209,65	559,99
Huhtikuu	334,59	100,80	209,65	645,04
Toukokuu	444,86	100,80	209,65	755,30
Kesäkuu	406,92	100,80	209,65	717,36
Heinäkuu	404,02	100,80	209,65	714,46
Elokuu	337,79	100,80	209,65	648,24
Syyskuu	280,83	100,80	209,65	591,27
Lokakuu	132,10	100,80	209,65	442,55
Marraskuu	48,73	100,80	209,65	359,18
Joulukuu	17,30	100,80	209,65	327,75
Yhteensä	2834,05	1209,60	2515,76	6559,41

Henkilöistä aiheutuva lämpöenergia on vakio, koska asukkaiden määrä tai heidän oleskelunsa rakennuksessa ei muutu. Sähkölaitteiden vuosittainen lämpöenergia on jaettu jokaiselle kuukaudelle tasaisesti, jotta lämpökuormat saataisiin laskettua kuukausitasolla.

Lämpökuormista hyödynnettävä energian osuus lasketaan kaavalla 20 (D5, s. 37, kaava 5.10)

$$Q_{sis,lämpö} = \eta_{lämpö} * Q_{lämpökuorma} \quad (20)$$

jossa

$Q_{sis,lämpö}$ on lämpökuormat, joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh

$\eta_{lämpö}$ on lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste
 $Q_{lämpökuorma}$ on rakennuksen lämpökuorma eli muun kuin säätölaitteilla ohjatun lämmityksen kautta rakennuksen sisälle vapautuva lämpöenergia, kWh

Hyödyntämisaste riippuu lämpökuorman ja lämpöhäviön suhteesta, sekä rakennuksen aikavakiosta. Hyödyntämiskerroin lasketaan kaavalla 21 (D5, s. 37, kaava 5.11)

$$\eta_{lämpö} = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{1+a}} \quad (21)$$

Hyödyntämiskertoimen kaavassa esiintyvä a lasketaan kaavasta 22 (D5, s. 37, kaava 5.13), joka riippuu aikavakiosta τ .

$$a = 1 + \frac{\tau}{15} \quad (22)$$

Suhdeluku γ lasketaan kaavalla 23 (D5, s. 37, kaava 5.14).

$$\gamma = \frac{Q_{\text{lämpökuorma}}}{Q_{\text{tila}}} \quad (23)$$

joissa

$\eta_{\text{lämpö}}$

on lämpökuormien hyödyntämisaste

γ

on lämpökuormien suhde lämpöhäviöön

a

on numeerinen parametri

$Q_{\text{lämpökuorma}}$

on rakennuksen lämpökuorma, kWh

Q_{tila}

on rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve, kWh

τ

on aikavakio, h

Aikavakio τ lasketaan kaavalla 24 (D5, s. 38, kaava 5.15)

$$\tau = \frac{C_{\text{rak}}}{H_{\text{tila}}} \quad (24)$$

jossa

τ

on rakennuksen aikavakio, h

C_{rak}

on rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti, Wh/K

H_{tila}

on rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö (johtumisen, vuotoilman, korvausilman ja tuloilman tilassa tapahtuvan lämpenemisen yhteenlaskettu ominaishäviö), W/K.

Kaavassa tarvittava tehollinen lämpökapasiteetti C_{rak} , saadaan kertomalla rakennuksen sisäpuolisen tehollisen lämpökapasiteetin ominaisarvo $C_{\text{rak.omin}}$ rakennuksen lämmitetyllä nettopinta-alalla A_{netto} . Sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetin ominaisarvo $C_{\text{rak.omin}}$ määräytyy rakennuksen tyypin ja rakenneratkaisujen perustella. Laskennassa käytetty rakennuksen alapohja, ulkoseinä, väliseinä ja yläpohja rakenteet ovat kevyitä rankarakenteita, jolloin lämpökapasiteetin ominaisarvo $C_{\text{rak.omin}}$ arvoksi saadaan 40 Wh/(m² K) (D3, s. 39, taulukko 5.6). Rakennuksen lämmitetyllä nettopinta-alalla A_{netto} tarkoitetaan rakennuksen

huoneiden lattiapinta-alojen summaa. Laskelmissa käytetyn rakennuksen nettopinta-ala A_{netto} on 76,45 m².

Rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö H_{tila} lasketaan kaavalla 25 (D5, s. 38, kaava 5.16)

$$H_{tila} = \frac{Q_{tila}}{(T_s - T_u) \cdot \Delta t} * 1000 \quad (25)$$

jossa

H_{tila}	on rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö, W/K
Q_{tila}	on rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve, kWh
T_s	on sisäilman lämpötila, °C
T_u	on ulkoilman lämpötila, °C
Δt	on ajanjakson pituus, h
1000	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos wateiksi

Rakennuksen lämmityksessä kuukausittain hyödynnettävä lämpöenergian määrä on esitetty taulukossa 14.

Taulukko 14. Kuukausittainen hyödynnettävä lämpöenergia

Kuukausi	H_{tila} [W/K]	Aikava- kio τ [h]	Para- metri a	Suhdelu- ku γ	Hyödyntä- misaste $\eta_{l\ddot{a}mp\ddot{o}}$	$Q_{sisil\ddot{a}mp\ddot{o}}$ [kWh]
Tammikuu	66,29	46,13	4,08	0,25	1,00	343,41
Helmikuu	66,29	46,13	4,08	0,38	0,99	448,66
Maaliskuu	66,29	46,13	4,08	0,48	0,97	544,74
Huhtikuu	66,29	46,13	4,08	0,77	0,89	575,72
Toukokuu	66,29	46,13	4,08	1,37	0,66	498,97
Kesäkuu	66,29	46,13	4,08	2,27	0,43	309,17
Heinäkuu	66,29	46,13	4,08	3,42	0,29	208,12
Elokuu	66,29	46,13	4,08	2,11	0,46	299,80
Syyskuu	66,29	46,13	4,08	1,14	0,75	440,63
Lokakuu	66,29	46,13	4,08	0,56	0,96	422,84
Marraskuu	66,29	46,13	4,08	0,35	0,99	356,06
Joulukuu	66,29	46,13	4,08	0,26	1,00	326,80
					Yhteensä	4 774,92

6 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus

Lämmitysjärjestelmän energiankulutus lasketaan tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeista ottamalla huomioon lämmönluovutuksen, lämmönjaon ja lämmön varastoinnin häviöt sekä lämmön tuoton vaikutus. Häviöt otetaan huomioon seuraavassa esitettyjen hyötysuhteiden avulla. Lämmitysenergian tuoton vaikutus lämmitysjärjestelmän energiakulutukseen lasketaan hyötysuhteen tai lämpökertoimen avulla. Tässä esitettyjen hyötysuhteiden ja lämpökertoimien avulla tehtävä laskenta tapahtuu vuositasolla (D5, s.40).

6.1 Tilojen ja ilmanvaihdon lämmönjakelujärjestelmän lämpöenergian tarve

Koska rakennuksessa on suora sähkölämmitys on tilojen lämpöenergian tarve $Q_{\text{lämmitys,tilat}}$ sama kuin kohdassa 3.1 laskettu tilojen lämmitysenergian nettotarve $Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$. Täten tilojen lämpöenergian tarve $Q_{\text{lämmitys,tilat}}$ on

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}} = 4\,814,39 \text{ kWh.}$$

6.2 Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve

Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve lasketaan kaavalla 26 (D5, s. 41, kaava 6.1).

$$Q_{\text{lämmitys,lkv}} = \frac{Q_{\text{lkv,netto}}}{\eta_{\text{lkv,siirto}}} + Q_{\text{lkv,varastointi}} \quad (26)$$

jossa

$Q_{\text{lämmitys, lkv}}$

$Q_{\text{lkv,netto}}$

$\eta_{\text{lkv, siirto}}$

$Q_{\text{lkv,varastointi}}$

on lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh/a
 on lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh/a
 on lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde
 on lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviö, kWh/a

D5 määrittelee lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhteelle $\eta_{lkv,siirto}$ arvoja, jotka riippuvat rakennuksen tyypistä, lämpimän käyttöveden jakojärjestelmästä ja putkien eristyksestä. D5 antaa pientalolle lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhteelle $\eta_{lkv,siirto}$ arvon 0,85, kun rakennuksessa ei ole lämpimän käyttöveden kiertoa ja jakojohdot on asennettu suojaputkeen (D5, 2012, s. 44, taulukko 6.3). D5 määrittelee lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviölle $Q_{lkv,varastointi}$ arvoja, jotka riippuvat lämminvesivaraajan koosta ja sen eristyksen paksuudesta. Rakennuksessa on 40 mm eristeellä varustettu 200 litran lämminvesivaraaja, jolle D5 antaa lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviölle $Q_{lkv,varastointi}$ arvoksi 1000 kWh/a (D5, 2012, s. 45, taulukko 6.3b). Lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarpeen $Q_{lkv,netto}$ arvo on 5 110 kWh/a (liite 8). Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeeksi saimme

$$Q_{\text{lämmitys,lkv}} = 7\,011,76 \text{ kWh/a.}$$

6.3 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus

Lämmitysjärjestelmän energiankulutus koostuu lämmitysenergian $Q_{\text{lämmitys}}$ kuluksista (D5, s.47). Lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus $Q_{\text{lämmitys}}$ lasketaan kaavalla 27 (D5, s. 47, kaava 6.7).

$$Q_{\text{lämmitys}} = Q_{\text{lämmitys,tilat}} + Q_{\text{lämmitys,iv}} + Q_{\text{lämmitys,lkv}} \quad (27)$$

jossa

$Q_{\text{lämmitys}}$

$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$

$Q_{\text{lämmitys,iv}}$

on lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh/a
on tilat tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh/a
ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh/a. (Ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutuksen laskennassa voidaan olettaa ilmanvaihtokoneen lämmityspattereiden hyötysuhteeksi 1,0, jolloin $Q_{\text{lämmitys,iv}} = Q_{\text{iv}}$) (D5, s.42)

$Q_{\text{lämmitys,lkv}}$

lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh/a

$$Q_{\text{lämmitys}} = 4\,814,39 \text{ kWh/a} + 640,23 \text{ kWh/a} + 7\,011,76 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{\text{lämmitys}} = 12\,466,38 \text{ kWh/a}$$

Koko rakennuksen lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutukseksi saimme 12 466,38 kWh vuodessa. Koska rakennukseen on sijoitettu varaava tulisija, voidaan lämmitysjärjestelmän vuotuisesta kulutuksesta vähentää D5:n mukaan (D5, 2012, s. 48), käyttäen D3:n arvoa, 2 000 kWh (D3, 2012, s. 24). Tällöin lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutukseksi tulee

$$Q_{\text{lämmitys}} = 12\,466,38 \text{ kWh/a} - 2\,000 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{\text{lämmitys}} = 10\,466,38 \text{ kWh/a.}$$

7 Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus

Puhaltimien tai ilmanvaihtokoneiden sähkönkulutus lasketaan suunnitellun ominaissähköteton, ilmavirran ja käyntiajan tulona kaavalla 28 (D5, s. 55, kaava 7.1). Laskemien lähtötiedoiksi tarvitaan vähintään tiedot ilmanvaihtokoneiden SFP-luku, joka kuvaa ilmanvaihtokoneen sähkötettoa, ja ilmavirrat.

$$W_{ilmanvaihto} = SFP * q_v * \Delta t \quad (28)$$

jossa

$W_{ilmanvaihto}$	on ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
SFP	on puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähkötettoa, kW/(m ³ /s)
q_v	on puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m ³ /s
Δt	on puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen käyttöaika laskentajaksolla, h

Rakennuksessa käytetyn ilmanvaihtokoneen SFP-luku käy ilmi ilmanvaihtokoneen laskelmista (liite 5), SFP on 1,77 kW/(m³/s). Ilmanvaihtokoneen ilmavirta q_v on rakennuksen poisto- ja tuloilma määrän summa. Kohdassa 3.4 on laskettu rakennukseen joka sekunti tuotavan tuloilman määrä, joka on 0,031 m³/s. Koska rakennuksen tulo- ja poistoilmavirta on määritetty yhtä suureksi saadaan ilmanvaihtokoneen ilmavirta q_v laskettua tulo- ja poistoilmavirtojen summana jolloin ilmanvaihtokoneen ilmavirta on 0,062 m³/s. Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutuksen $W_{ilmanvaihto}$ laskenta suoritetaan vuositasolla, tästä johtuen ilmanvaihtokoneen käyttöajaksi laskentajaksolla Δt saadaan 8 640 h.

$$W_{ilmanvaihto} = 1,77 \frac{kW}{\left(\frac{m^3}{s}\right)} * 0,062 \frac{m^3}{s} * 8760h$$

$$W_{ilmanvaihto} = 961,32 kWh$$

8 Rakennuksen E-luku

Rakennuksen E-luku kertoo rakennuksen kokonaisenergian kulutuksen kilowattitunteina neliometriä kohden vuodessa. E-luvun laskentaan tarvitaan tieto rakennuksen ostoenergian kulutuksesta ja energiamuotojen kertoimista. Rakennuksen ostoenergia koostuu lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä järjestelmien apulaitteiden, kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutuksesta energiamuodoittain eriteltynä (D5, s.14). Energiamuotojen kertoimet on määritetty Suomen rakennusmääräyskokoelma D3:ssa. Rakennuksen ostoenergiankulutus lasketaan kaavalla 29 (D5, s. 14, kaava 2.1).

$$E_{osto} = \frac{Q_{lämmitys} + W_{ilmanvaihto} + W_{valaistus} + W_{kuluttajalaitteet}}{A_{netto}} \quad (29)$$

jossa

E_{osto}	on rakennuksen ostoenergiankulutus, kWh/(m ² a)
$Q_{lämmitys}$	on lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh/a
$W_{ilmanvaihto}$	on ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{kuluttajalaitteet}$	on kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{valaistus}$	on valaistusjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a
A_{netto}	on rakennuksen lämmitetty nettoala, m ² .

$$E_{osto} = \frac{10\,466,38 + 961,23 + 319,49 + 2\,196,00 \frac{kWh}{a}}{76,45 \text{ m}^2}$$

$$E_{osto} = 182,38 \frac{kWh}{m^2 a}$$

Koska rakennuksessa käytetystä ostoenergiasta kaikki on sähköenergiaa, lasketaan rakennuksen E-luku käyttäen vain sähkölle asetettua energiamuotokerrointa. Rakennuksen E-luku lasketaan kaavalla 30 (D5, s. 15, kaava 2.3).

$$E = \frac{f_{sähkö} * W_{sähkö}}{A_{netto}} \quad (30)$$

jossa

E	on rakennuksen energialuku, kWh/(m ² a)
$W_{sähkö}$	on rakennuksen sähkön kulutus, kWh/a

$f_{\text{sähkö}}$

on sähkön energiamuodon kerroin,-

Rakennuksen sähkön kokonaiskulutus $W_{\text{sähkö}}$ vuodessa on 13 943,1 kWh/a.

Jotta laskemiamme tuloksia voitaisiin analysoida paremmin, päätimme ottaa vertailu kohteeksi omakotitalon sähkönkulutus arvion. Arviossa on eritelty sähkönkulutus lämmitykselle, valaistukselle ja kuluttajalaitteille. Arvio on otettu Vattenfallin Internet-sivuilta ja se on esitetty taulukossa 15.

Taulukko 15. Sähkölämmitetyn omakotitalon sähkönkulutus (120 m², neljä henkilöä) (Vattenfall, 2012).

	Kulutus/v	
Lämmitys	9600	kWh
Veden lämmitys	3700	kWh
Kylmälaitteet	1100	kWh
Kiuas	1000	kWh
Ruuanvalmistus	600	kWh
Viihde	350	kWh
Pyykinpesu	250	kWh
Astianpesu	250	kWh
Auton lämmitys	250	kWh
Valaistus ja muu kulutus	1400	kWh
Yhteensä vuodessa	18 500	kWh

Laskemassamme talon pinta-ala on 88 m², sähkönkulutus noin 14 000 kWh. Taulukossa 15 kuvatun kohteen pinta-ala on 120 m² ja sähkönkulutus 18 500 kWh. Neliökohtainen kulutus taulukon 15 kohteessa on noin 154 kWh/m², kun meidän laskeman omakotitalon sähkönkulutus neliötä kohden on 159 kWh/m². Tulosten välillä on vain 3,14 % ero. Laskelmien tarkkuus on hyväksyttävällä tasolla.

Suomen rakennusmääräyskokoelma D3 antaa sähkölle energiamuodon kertoimeksi 1,7 (D3, s. 8).

$$E = \frac{1,7 \cdot 13\,943,1 \text{ kWh/a}}{76,45 \text{ m}^2}$$

$$E = 310,05 \frac{kWh}{m^2a}$$

Yhteenveto E-luvun laskennan tuloksista on esitetty taulukossa liitteessä 16 taulukossa 19.

E-luvuksi saimme 310,05 kWh/m²a, joka ei täytä uusia D3 vaatimuksia uusille pientaloille. D3:n mukaan E-luvun alle 120 m² omakotitalolla tulisi olla >204 kWh/m²a. Näin ollen, ei tässä opinnäytetyössä esitettyä omakotitaloa voi rakentaa pelkän sähkölämmityksen varaan.

9 Pienoismallin rakenneratkaisut

Pienoismallin (kuva 8) toteutuksessa pyrittiin valitsemaan materiaalit siten, että niiden lämpötekniset ominaisuudet ja käyttäytyminen olisivat mahdollisimman samankaltaiset kuin oikeassa rakenteessa. Pienoismalli pyrittiin skaalaamaan 1:10 lämmönläpäisykertoimien, U-arvojen, suhteessa, kuitenkin siten, että rakenteiden paksuudet pysyisivät toteutettavissa mitoissa.

Yleisimmäksi materiaaliksi pienoismallissa päädyimme käyttämään puukuitulevyä. Se on edellä mainituilta ominaisuuksiltaan toimivin vaihtoehto. Puukuitulevyn paksuudet olivat myös hyvin lähellä pienoismallin seinän paksuuksia.



Kuva 8. Valmis pienoismalli

9.1 Mallitalon rakenteiden vaikutus pienoismallin rakenneratkaisuihin

Oletetaan esimerkkinä, että rakenteen lämmönläpäisykerroin on oltava alle $0,22 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$. Pienoismalliin se skaalattiin 1:10, eli pienoismallissa rakenteen lämmönläpäisykerroimeksi tuli $2,2 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$. Jos kyseinen rakenne on 270 mm paksu realistisessa koossa, on se pienoismallissa skaalattu 1:10, eli sen paksuus on pienoismallissa 27,0 mm. Kaikkien rakenteiden U-arvo laskelmat on esitetty liitteessä 17.

9.2 Pienoismallin energialaskenta

Pienoismallin energialaskennassa käytettiin Ympäristöministeriön verkkosivuilta saatavaa energialaskuria hyväksi. Tästä laskurista saatiin lukuarvo ominaislämpöheijäille, jonka pohjalta pystyimme aloittamaan pienoismallin toteutuksen suunnittelua. Vakioina pysyivät pinta-ala A ja ominaislämpökapasiteetti C_{omin} . Pystyimme laskemaan lämpökapasiteetin C , ominaislämpökapasiteetin ja pinta-alan tulona. Saatu aikavakion jaettiin 24, eli saatiin kuinka monta tuntia pienoismallissa vastaa yhtä vuorokautta realistisessa koossa.

Aikavakio oli pienoismallin skaalauksessa tärkeässä asemassa. Aikavakio pyrittiin samaan sellaiseksi, että se palvelisi mahdollisimman hyvin opinnäytetyössä suoritettavaa simulointia ja mahdollista pienoismallin käyttöä opetuksessa. Aikavakioksi pyrittiin saamaan 2 tuntia, jotta simuloinnin pituus ei kasvaisi kohtuuttoman pitkäksi. Liian lyhyt aikavakio taas vaatisi rakennukseen suuri tehoista lämmitysjärjestelmää. Oppilaitoksessamme oppitunnit ovat yleensä vähintään kaksi tuntia pitkiä, joten kahden tunnin aikavakio mahdollistaisi myös simuloinnin oppituntien aikana.

Taulukossa 16 on esitetty reaalikohteen ja pienoismallin välinen suhde, jonka pohjalta pienoismallia lähdettiin rakentamaan ja lukuarvoja tarkentamaan.

Taulukko 16. Reaalikohteen ja pienoismallin suhdetaulukko

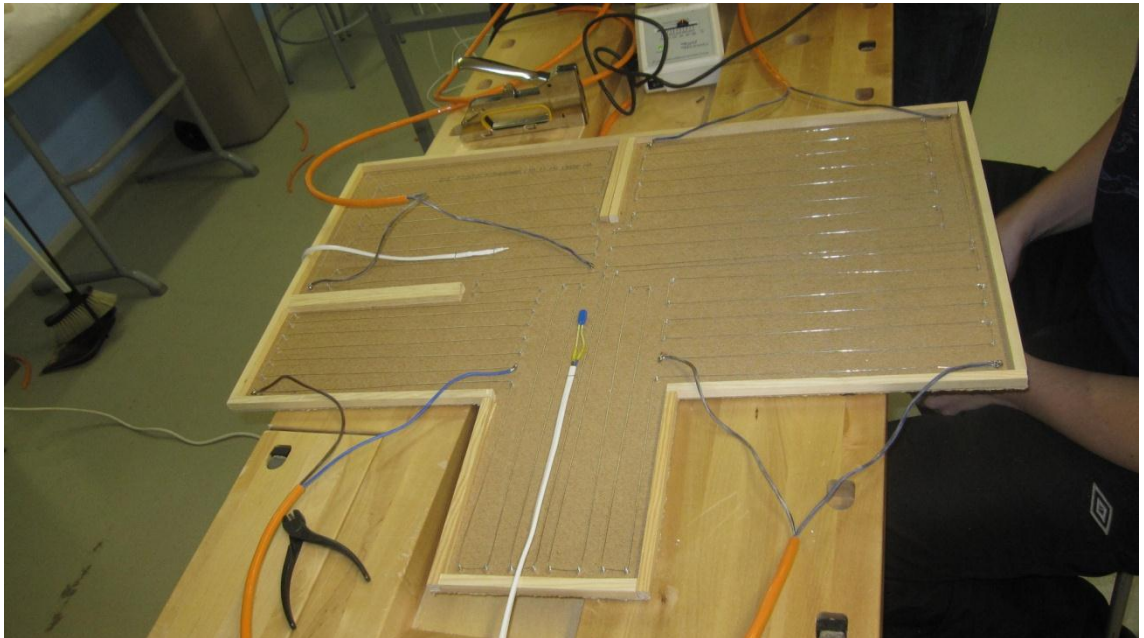
Termi	Omakotitalo	Pienoismalli
H [W/K]	66,29	6,63
C_{omin} [Wh/m ² K]	40,00	40,00
A [m ²]	76,45	7,65
C [Wh/K]	3058,00	305,80
τ [h]	46,13	1,92

9.3 Pienoismallin alapohja

Suomen rakentamismääräyskokoelman vaatimusten mukaan ulkoilmaan tuuletuvan alapohjarakenteen lämmönläpäisykertoimen tulee olla vähintään 0,17 W/(K·m²). Pyrimme saamaan pienoismallin rakenteen U-arvoksi 1,7 W/(K·m²), 20 %:n virhemarginaalilla. Rakenteessa vaikuttavat paksuus d [mm], pintavas-

tukset R_{si} ja R_{se} [$m^2 \cdot K/W$] sekä materiaalin lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo λ_u [$W/m \cdot K$].

Alapohjan rakenteeksi (kuva 9) valitsimme 22 mm puukuitulevyn, jonka U-arvoksi saimme $1,73 W/K \cdot m^2$. Lattian valettiin kipsistä 10 mm paksuiseksi, yläpinnaksi 3 mm:n kovalevy kuvaamaan parkettilattiaa. Kovalevyyn asennettiin ruuvit joiden kautta lattialämmityspiuha asennettiin. Kipsin ja kovalevyn vaikutusta U-arvoon ei ole huomioitu, tästä syystä esiintyy tuloksissa hieman poikkeamaa. Kipsimassan annettiin kovettua yksi yö, jonka jälkeen kovettuneen valun (kuva 10) ympäriltä purettiin muotti ja muotin reunojen alla ollut ylimääräinen kovalevy leikattiin pois.



Kuva 9. Olohuoneen ja keittiön alueen lattialaatta, johon on kiinnitetyt valun sisälle jäävät anturit.



Kuva 10. Makuuhuoneen valettu lattia, huomaa antureiden johdot

9.4 Pienoismallin ulkoseinä

Suomen rakentamismääräyskokoelman vaatimusten mukaan ulkoseinän rakenteen lämmönläpäisykertoimen U tulee olla vähintään $0,17 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$. Pyrimme saamaan pienoismallin rakenteen lämmönläpäisykertoimeksi $1,7 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$, 20 % virhemarginaalilla. Rakenteessa vaikuttavat paksuus d [mm], pintavastukset R_{si} ja R_{se} [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$] sekä materiaalin lämmönjohtavuuden suunnitteluvarvo λ_u [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$]. Ulkoseinä elementit kiinnitettiin toisiinsa 40 mm pitkällä ruuveilla (kuva 11).

Ulkoseinän rakenteeksi valitsimme 22 mm puukuitulevyn, jonka U -arvoksi saimme $1,86 \text{ W}/\text{K}\cdot\text{m}^2$.



Kuva 11. Ulkoseinien ruuviliitos

9.5 Pienoismallin väliseinät

Väliseinien valintaperusteeksi nousi niihin vaadittavien kiinnitysten ja asennusten tekeminen. Väliseinämateriaaliksi pyrittiin valitsemaan hieman tiheämpi ja paksumpi materiaali, että saataisiin selkeämmät vaikutukset erilaisten tilojen välille lämmityksen sekä ilmanvaihdon suhteen.

Väliseiniksi valitsimme 12 mm koivuvanerin, jonka upotimme 15 mm:n syvyyseen uraan (kuva 12). Seinien liitoksissa käytettiin 15 mm ruuveja (kuva 13). Ulkoseinän ja väliseinän liitoksiin teimme ohjurit 10x10 rimasta.



Kuva 12. Väliseinien asennusurat



Kuva 13. Pienoismallitalon väliseinien ruuviliitoksesta

9.6 Pienoismallin yläpohja

Suomen rakentamismääräyskokoelman, osan C3 Rakennusten lämmöneristys, mukaan tulee yläpohjan lämmönläpäisykertoimen U olla enintään $0,09 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$. Pienoismallissa lähdimme etsimään rakennetta, jonka lämmönläpäisykerroin olisi vähintään $0,9 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ 20 % virhemarginaalilla. Rakenteeksi valitsimme kaksi puukuitulevyä (22 mm), joiden väliin teimme 10 mm ilmaraon. Rakenteen U -arvoksi saimme $0,98 \text{ W}/\text{K}\cdot\text{m}^2$.

Yläpohjan pohjaan ruuvasimme 90 mm:n jaolla 10x10 rimaa, joiden päälle asetimme yläpohjan kannen. Kansi ruuvattiin paikoilleen 40 mm:n ruuveilla (kuva 14).



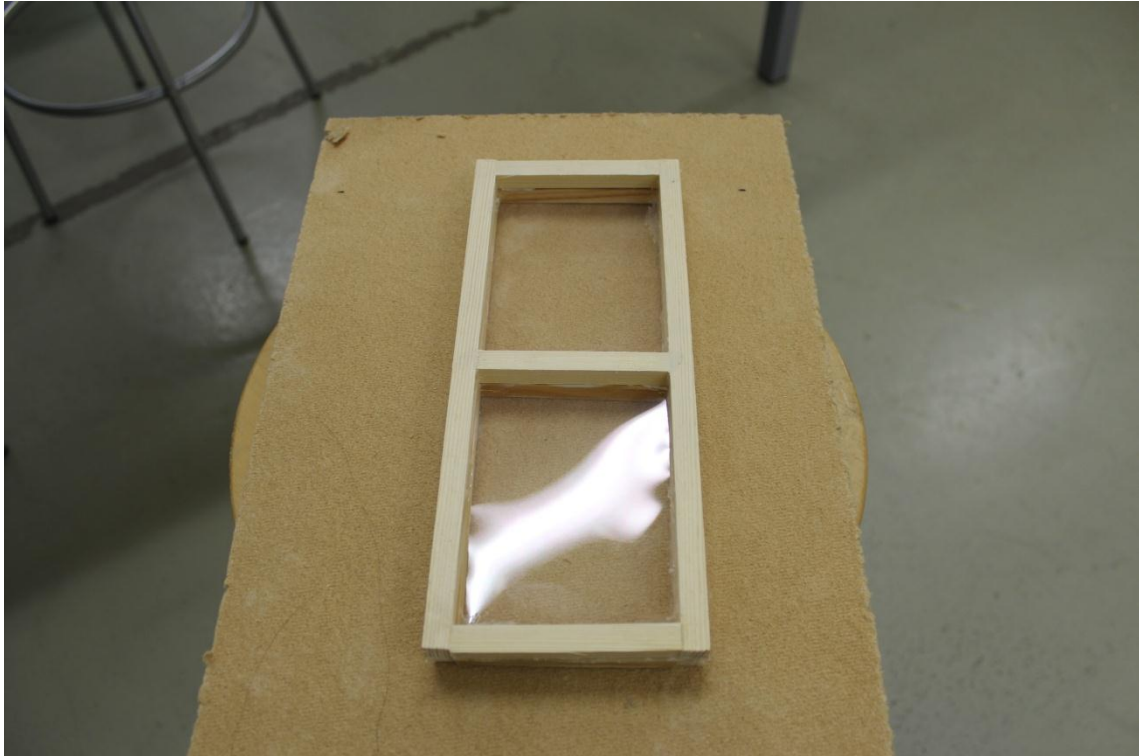
Kuva 14. Pienoismallitalon yläpohjarakenne ilman viimeistä puukuitulevyä.

9.7 Pienoismallin ovet ja ikkunat

Ikkunoiden ja ovien lämmönläpäisykertoimen U on realistisissa kohteessa oltava vähintään $1,0 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$. Pienoismallissa lämmönläpäisykertoimen pitäisi olla skaalauksen mukaan $10 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$. Kuitenkin totesimme, että tämä ei ole mahdollista pysyäksimme järkevissä mittasuhteissa ikkunoiden paksuutta käsitel-

lessä. Näin ollen ikkunoiden U-arvon suhteen jouduimme hieman poikkeamaan tavoitteesta, lopulliseksi U-arvoksi ikkunoissa saimme $5,80 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$.

Ikkunat päätimme toteuttaa yksinkertaisena. Karmit teimme 10x10 rimasta liimaamalla ja ruuvaamalla (kuva 15). Karmien väliin tuli piirtoheitinkalvo. Ikkunan karmien alareunat sijoitettiin 90 mm:n korkeuteen alapohjan yläpinnasta.



Kuva 15. Pienoismallitalon 10*24 kokoinen ikkuna.

Ovimateriaalina toimi 12 mm:n koivuvaneri. Ovet toteutimme pienoismalliin siten, että ne voivat olla joko auki tai kiinni.

10 Energian kulutuksen ja lämpöhäviöiden simulointi pienoismallin avulla

Simulointi suoritettiin Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun tiloissa, opinnäyte-työntekijöiden toimesta. Simuloinnissa talon lämpökäyttäytymistä tutkittiin eri asetuksilla, jotta tuloksista tulisi monipuolisia ja mahdollisten järjestelmä virheiden paikallistaminen olisi helpompaa. Simulointi suoritettiin seuraavilla asetuksilla

- pienoismallin lämpeneminen muutamalla vakioteholla ja erilaisilla ilman vaihdon asetuksilla
- pienoismallin jäähtyminen erilaisilla ilmanvaihdon asetuksilla ja
- ilmanvaihdon lämpötilat.

Testit teimme reaaliaika mittauksina ja lämpötilat saimme taloon asennetuilla huonelämpötila-antureilla. Automaation käyttöliittymä kirjasi tulokset lokitiedostoon. Lokitiedostot voitiin käsitellä Excel-ohjelmalla, jonka avulla pystyimme tekemään erilaisia laskelmia. Näistä tuloksista saimme määritettyä pienoismallille

- lämpötilojen suurimmat erot ja
- aikavakiot.

11 Tulosten analysointi

11.1 E-luvun laskenta

Työssä käytettyjen rakenteiden mukainen, pelkästään sähköenergiaa käyttävä omakotitalo ei täytä D3:n asuinrakennukselle asettamaa vaatimusta. Jotta rakennus täyttäisi D3:n määräykset, tulisi rakennuksessa käytetystä energiasta osa korvata muilla energiamuodoilla. Muiden energiamuotojen kertoimet ovat huomattavasti pienemmät kuin sähköenergian, jolloin E-luku pienenee merkittävästi.

Jos 60 % talon tarvitsemasta sähköenergian määrästä korvattaisiin kaukolämmöllä, saataisiin E-luvuksi seuraavaa

$$E = \frac{f_{\text{sähkö}} * W_{\text{sähkö}} + f_{\text{kaukolämpö}} * Q_{\text{kaukolämpö}}}{A_{\text{netto}}}$$

jossa

E	on rakennuksen energialuku, kWh/(m ² a)
$W_{\text{sähkö}}$	on rakennuksen sähkön kulutus, kWh/a
$f_{\text{sähkö}}$	on sähkön energiamuodon kerroin,-
$Q_{\text{kaukolämpö}}$	on rakennuksen kaukolämmön kulutus, kWh/a
$f_{\text{kaukolämpö}}$	on kaukolämmön energiamuodon kerroin,-

$$E = \frac{1,7 * 5\,577,24 \text{ kWh/a} + 0,7 * 8\,365,86 \text{ kWh/a}}{76,45 \text{ m}^2}$$

$$E = 200,62 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{a}}$$

Tällöin rakennuksen E-luku täyttää vaatimuksen $E \leq 204 \text{ kWh/m}^2$ vuodessa.

11.2 Simuloinnin tulokset

Ennen simulointia pienoismallitalolle asetettiin tavoitearvoja joiden pohjalta talo suunniteltiin. Simuloinnin tuloksista saatiin vertailuarvoja tavoitearvoille, lisäksi laskettiin termikohtainen virheprosentti suunnitelmien ja tuloksien välille. Tavoitteet, tulosten keskiarvot ja näiden välinen virheprosentti on esitetty taulukossa 17.

Taulukko 17. Simuloinnin tavoitearvot ja tulokset

Termi	Tulos	Tavoite	Virhe [%]
IV ominaislämpöhäviö [W/K]	2,15	2,10	2,47
Ilmavirta [l/s]	2,24	3,10	38,30
Aikavakio τ [h]	2,01	2,00	0,50
Ominaislämpöhäviö [W/K]	7,35	7,00	5,00

11.2.1 Ominaislämpöhäviö

Kokonaisuudessa pienoismallin lämpöhäviöiden summa on laskennallisesti 7 W/K. Testauksen suorituksen perusteella pienoismallille lämpöhäviöiksi saimme erilaisilla lämmitystehon ja ilmanvaihdon asetuksilla 6,69–7,45 W/K. Mittausten pienin arvo 4,54 W/K jätettiin huomioimatta, koska tässä mittauksessa ilmanvaihto oli kytketty pois päältä. Laskennallisten ja testattujen ominaislämpöhäviöiden erot ovat minimaalisia. Suurin syy eroon on ehkä rakenteiden epätiiveys erilaisissa liitoksissa (kuva 6), jotka lisäävät vuotoilman lämpöhäviötä.

Ilmanvaihdon lämpöhäviö 20 % lämmöntalteenotolla oli laskennallisesti 2,1 W/K. Testausten perusteella ilmanvaihdon lämpöhäviöksi saimme 2,15 W/K. Ilmanvaihdon laskennallinen ja testattu lämpöhäviö vastaavat toisiaan. Ilmavirrat tosin poikkeavat toisistaan hieman. Laskennallinen ilmanvaihto oli 3,1 l/s, mutta testauksessa ilmanvaihto oli vain 2,24 l/s. Eroa aiheutti ilmanvaihdon ja rakenteiden liitoksien epätiiveydestä. Ilmanvaihdon putkissa tapahtunut lämpötilan lasku, jopa 10 °C, aiheutti myös eroa laskenta- ja mittaustuloksissa.

11.2.2 Aikavakio

Aikavakion laskennan arvo on 2 tuntia. Erilaisten testausten mukaan aikavakio vaihtelee 1,74–2,47 tunnin välillä. Tuloksiin vaikuttavaa mm. lattian massiivisuus, lämpövastuksen kasvu kun lämpötilaerot ovat pienet ja lämmitystavan pinta-ala. Massiiviseen lattiaan sitoutuu alussa enemmän lämpöä verrattuna kevyeen lattiaan.

Lämpötila erojen pienentyessä lämmönvastus lämmönsiirtymiseen kasvaa eksponentiaalisesti. Mittauksissa huomasimme kuinka loppuvaiheen aikana lämpötila laskee hitaasti lämmönvastuksen kasvamisen myötä. Jäähdytymisen aikavakion suuruuteen vaikuttaa myös lämmitystavan pinta-ala. Lattialämmitys luovuttaa lämpöä huomattavasti pidempään kuin patterilämmitys. Tämän seurauksen aikavakio on lattialämmityksen yhteydessä suurempi verrattuna patterilämmitykseen.

11.3 Tulosten luotettavuus

Laskennallisten arvojen ja mitattujen tulosten perusteella voimme olla kokonaisuudessaan tyytyväisiä rakennuksen lämpötekniseen toimintaan. Lukuun ottamatta ilmanvaihdon ilmavirtaa laskennallisten tulosten ja testauksen antamien arvojen perusteella on tulosten ero vain muutamia prosenttiyksikköjä. Ilmavirtojen eron suuruuteen vaikutti mm. ilmanvaihdon liitoksien epätiivisyys.

Testausten luotettavuus on keskinkertainen. Tulokset pohjautuvat vain yksittäisiin mittauksiin, eikä niitä ole toistettu. Näin ollen tulokset eivät välttämättä ole täysin luotettavia, mutta ovat vertailukelpoisia ja tavoitteen mukaisia. Pienoismallin ja testauksen suorittajina uskomme kuitenkin, että testausten uusiminen ei muuta tuloksia kuin marginaalisesti. Kokonaisuudessaan olemme tyytyväisiä testauksen suorituksen kulkuun ja sen tuloksiin sekä tulosten luotettavuuteen.

12 Pohdinta

Työn aikainen laskenta antoi hyvän pohjan uudistuvan D5 osan mukaiselle laskennalle. Uusiutuva D5 tulee kansainvälisesti käyttöön heinäkuussa ja nyt siihen tutustuneena olemme muita vastavalmistuneita opiskelijoita askeleen edellä.

Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää myös opetuskäytössä, erityisesti uusiutuvan D5 osan opetuksen yhteydessä. Kursseilla voidaan mm. tutkia ilmanvaihdon vaikutusta lämpöhäviöihin kokonaisuuteen. Pienoismalliin liitettyjä häiriötekijöitä (sauna ja takka) ei tässä työssä tutkittu aikataulun kireyden takia. Kursseilla voidaan myös pureutua näiden vaikutukseen kokonaisuudessa.

Työtä toteutettiin yhteistyössä tietotekniikan opiskelijoiden kanssa. Prosessin aikana työssä pystyttiin käyttämään hyväksi rakennusfysiikan ja talonrakennuksen oppeja. Näitä taitoja kehitettiin edelleen uudistuvan D5 osan pohjalta. Kokonaisuudessa yhteistyö tietotekniikan opiskelijoiden kanssa oli antoisaa ja tuottavaa. Pystyimme lomittamaan toistemme osaamista ja ongelmiin saimme yhdessä hyvät ratkaisut. Erityisiä etuja yhteistyö toi mm:

- pienoismallin toteutuksen ja testauksen aikana
- työn kirjallisen osan tuottamisen yhteydessä sekä
- yleisesti ottaen rento ja humoristinen ilmapiiri, missä työskentely oli vaivatonta.

Jatkokehitystä ajateltaessa rakennusteknisesti pienoismalli toimi kokonaisuutena varsin moitteettomasti. Suurimmat kehityskohteet pienoismallissa olisivat tiiveyteen liittyen:

- rakennuksen ulkoseinien ja ylä- sekä alapohjan liitosten tiivistäminen
- aukkojen eli ovien ja ikkunoiden tiivistäminen ja
- väliseinien ja yläpohjan välin tiivistäminen.

Ulkonäöllisesti pienoismallia olisi voitu ehostaa, jopa maalamalla tai lisäämällä joitakin ulkopuolisia rakenteita, kuten ulkoverhoilun.

Rakenteellisia muutoksia yläpohjan saranoiden puolelle tulisi tehdä. Ulkoseinään kiinnitetyt saranat voivat vahingoittaa talon rakenteita pysyvästi, jos tuentaa ei lisätä.

Lämpimän käyttöveden laskennan yhteydessä huomasimme pieniä puutteita. Lämpimän veden varastoinnista ja siirtämisestä syntyneitä kuormia emme olleet huomioineet. Kokonaisuuteen nämä eivät kuitenkaan vaikuta kuin muutaman prosenttiyksikön verran. Aikataulun ja työnlaajuuden takia, emme näitä puutteita tässä työssä esittäneet.

Lähteet

- C3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten lämmöneristys. Määräykset 2010. Helsinki.
- D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki.
- D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2007. Helsinki.
- D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012. Luonnos 14.3.2012.
- Enervent. 2012. Energy Optimizer – tekninen laskin.
<http://www.enervent.fi/unit.asp?menuid=20110&countryid=100&langid=1>. [Luettu 3.3.2012.]
- Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. Isover Rakennekirjasto 2010 versio 1.1.
<http://www.isover.fi/suunnittelu/rakennekirjasto>. [Luettu 12.2.2012.]
- Pihlavan Ikkunat Oy. 2012. Pihla Varma. Tekniset tiedot.
http://www.pihla.fi/ikkunat/Tuotekortti-Pihla_Varma. [Luettu 27.4.2012.]
- Vattenfall. 2012. Sähkönkäyttö omakotitalossa.
<http://www.vattenfall.fi/fi/omakotitalo.htm> [Luettu 21.4.2012].
- Ympäristöministeriö. 2012. D3 Tasauslaskin 2010 versio helmikuu 2009.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=409253&lan=FI>. [Luettu 15.1.2012]

OMAKOTITALON TASAUSLASKENTA

(Ympäristöministeriö, 2012)

Perustiedot						Lämpöhäviöiden tasaus	
RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]			Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{ohnt} = A x U]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat							
Ulkoseinä	92	95	0,17	0,60	0,17	15,6	16,2
Hirsiseinä			0,40	0,60		-	-
Yläpohja	88	88	0,09	0,60	0,09	7,9	7,9
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹	88		0,17	0,60	0,09	12,0	6,3
Alapohja (maanvastainen)			0,16	0,60	0,16	-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16	0,60		-	-
Ikkunat	13,2	9,8	1,00	1,80	1,00	13,2	9,8
Ulko-ovet	4,2		1,00	-	1,00	4,2	4,2
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	285	285				52,9	44,4
Puolilämpimät tilat							
Ulkoseinä			0,26	0,60		-	-
Hirsiseinä			0,60	0,60		-	-
Yläpohja			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹			0,26	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24	0,60		-	-
Ikkunat			1,40	2,80		-	-
Ulko-ovet			1,40	-		-	-
Kattoikkunat			1,40	2,80		-	-
Puolilämpimät tilat yhteensä	-	-				-	-
VAIPAN ILMAVUODOT							
Vuotoilma	Ilmanvuotoluku, 1/h [n ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v,v} = n ₅₀ /25 x V/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 x q _{v,v}]		
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Lämpimät tilat	2,0	4,0	0,0049	0,0098	5,9	11,7	
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-	
ILMANVAIHTO							
Hallittu ilmanvaihto	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v,p}]		LTO:n vuosiyhötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{iv} = 1200 x q _{v,p} x (1-η _a)]		
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Lämpimät tilat	0,031		45	45	20,2	20,2	
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Puolilämpimät tilat			45		-	-	
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus						Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä						79	76
Puolilämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä						-	-

RAKENNEOSIEN LÄPI JOHTUVAN LÄMPÖHÄVIÖN LASKENTA

Ulkoseinän lämpöhäviö tammikuussa

$$Q_{ulkoseinä,tammi} = \sum U_{ulkoseinä} * A_{ulkoseinä} * (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

$$Q_{ulkoseinä,tammi} = 0,17 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} * 95 \text{ m}^2 * (20,0 \text{ °C} - (-8,00 \text{ °C})) * \frac{744 \text{ h}}{1000}$$

$$Q_{ulkoseinä,tammi} = 336,44 \text{ kWh}$$

Yläpohjan lämpöhäviö tammikuussa

$$Q_{yläpohja,tammi} = \sum U_{yläpohja} * A_{yläpohja} * (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

$$Q_{yläpohja,tammi} = 0,09 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} * 80 \text{ m}^2 * (20,0 \text{ °C} - (-8,00 \text{ °C})) * \frac{744 \text{ h}}{1000}$$

$$Q_{yläpohja,tammi} = 164,99 \text{ kWh}$$

Alapohjan lämpöhäviö tammikuussa

$$Q_{alapohja,tammi} = \sum U_{alapohja} * A_{alapohja} * (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

$$Q_{alapohja,tammi} = 0,17 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} * 80 \text{ m}^2 * (20,0 \text{ °C} - (-8,00 \text{ °C})) * \frac{744 \text{ h}}{1000}$$

$$Q_{alapohja,tammi} = 311,65 \text{ kWh}$$

Ikkunoiden lämpöhäviö tammikuussa

$$Q_{ikkuna,tammi} = \sum U_{ikkuna} * A_{ikkuna} * (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

$$Q_{ikkuna,tammi} = 1,00 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} * 9,8 \text{ m}^2 * (20,0 \text{ °C} - (-8,00 \text{ °C})) * \frac{744 \text{ h}}{1000}$$

$$Q_{ikkuna,tammi} = 204,15 \text{ kWh}$$

Ulko-ovien lämpöhäviöt tammikuussa

$$Q_{ovi,tammi} = \sum U_{ovi} * A_{ovi} * (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

$$Q_{ovi,tammi} = 1,00 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} * 4,2 \text{ m}^2 * (20,0 \text{ °C} - (-8,00 \text{ °C})) * \frac{744 \text{ h}}{1000}$$

$$Q_{ovi,tammi} = 87,49 \text{ kWh}$$

KYLMÄSILTOJEN AIHEUTTAMAN LÄMPÖHÄVIÖN LASKENTA

Kylmäsiltojen lämpöhäviöt yläpohjaliitoksissa tammikuussa

$$Q_{kylmäsilta,yläpohja,tammi} = \sum l_k * \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

$$Q_{kylmäsilta,yläpohja,tammi} = 38 \text{ m} * 0,05 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} * (20,0 \text{ °C} - (-8,00 \text{ °C})) 744 \text{ h} / 1000$$

$$Q_{kylmäsilta,yläpohja,tammi} = 37,58 \text{ kWh}$$

Kylmäsiltojen lämpöhäviöt alapohjaliitoksissa tammikuussa

$$Q_{kylmäsilta,alapohja,tammi} = \sum l_k * \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

$$Q_{kylmäsilta,alapohja,tammi} = 38 \text{ m} * 0,06 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} * (20,0 \text{ °C} - (-8,00 \text{ °C})) 744 \text{ h} / 1000$$

$$Q_{kylmäsilta,alapohja,tammi} = 45,10 \text{ kWh}$$

Kylmäsiltojen lämpöhäviöt aukkojen ympärillä tammikuussa

$$Q_{kylmäsilta,aukot,tammi} = \sum l_k * \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

$$Q_{kylmäsilta,aukot,tammi} = 45,2 \text{ m} * 0,02 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} * (20,0 \text{ °C} - (-8,00 \text{ °C})) 744 \text{ h} / 1000$$

$$Q_{kylmäsilta,aukot,tammi} = 18,53 \text{ kWh}$$

Lämpöhäviöt kaikkien kylmäsiltojen summana

$$Q_{kylmäsilat} = Q_{kylmäsilta,yläpohja,tammi} + Q_{kylmäsilta,alapohja,tammi} + Q_{kylmäsilta,aukot,tammi}$$

$$Q_{kylmäsilat} = 37,58 \text{ kWh} + 45,10 \text{ kWh} + 18,53 \text{ kWh}$$

$$Q_{kylmäsilat} = 101,21 \text{ kWh}$$

Lämpöhäviöt rakenneosien ja kylmäsiltojen summana tammikuussa

$$Q_{joht} = Q_{ulkoseinä} + Q_{yläpohja} + Q_{alapohja} + Q_{ikkuna} + Q_{ovi} + Q_{kylmäsilat}$$

$$Q_{joht} = 336,44 \text{ kWh} + 164,99 \text{ kWh} + 311,65 \text{ kWh} + 204,15 \text{ kWh} + 87,49 \text{ kWh} + 101,21 \text{ kWh}$$

$$Q_{joht} = 1\,205,93 \text{ kWh}$$

VUOTOILMAN LÄMPENEMISEN TARVITSEMAN ENERGIAMÄÄRÄN LASKENTA

Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50}

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{vaiippa}} * V$$

$$q_{50} = \frac{4,0 \text{ 1/h}}{249,52 \text{ m}^2} * 220 \text{ m}^3$$

$$q_{50} = 3,53 \text{ m}^3 / (\text{h m}^2)$$

Vuotoilmavirta q_v , vuotoilma

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 * X} * A_{vaiippa}$$

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{3,53 \text{ m}^3 / (\text{h m}^2)}{3600 * 35} * 249,52 \text{ m}^2$$

$$q_{v,vuotoilma} = 0,007 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Rakenteiden epätiivyyksien kautta tulevan vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energia $Q_{vuotoilma}$

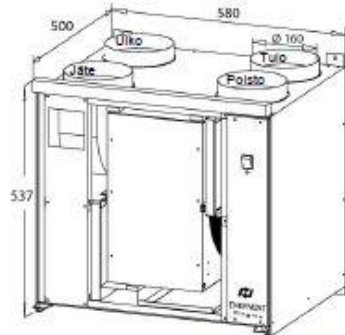
$$Q_{vuotoilma} = \rho_i * c_{pi} * q_{v,vuotoilma} * (T_s - T_u) * \Delta t / 1000$$

$$Q_{vuotoilma} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} * 0,007 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (20,0 \text{ °C} - (-8,0 \text{ °C})) * 744 \text{ h} / 1000$$

$$Q_{vuotoilma} = 174,99 \text{ kWh}$$

ILMANVAIHTOKONEEN TEKNINEN LASKENTA

(Enervent, 2012)

enervent® Energy OptimizerKohde:
Käsittelijä:Sivu 1
18.04.2012**Pingvin eco EDE**

Kuvassa oleva kone on oikeakätinen. Saatavilla myös vasenkätisenä.

Laitetiedot: Pingvin eco EDE	
Kanavalähdöt	Ø 160 mm
Leveys	580 mm
Korkeus	537 mm
Syvyys	500 mm
Paino	50 kg
Puhaltimen teho	119 W
Pyörivä lämmönsiirrin	
Sähköpatterin teho (sisäinen)	400 W
Ei jäähdytystä	
Asennus lämpimään tilaan	
Tuotenumero	P01 111 0002
LVI-numero	7935496
Sähkötiedot: 230 V/50 Hz, 1-vaihe, sulake 10 A nopea	

Äänet										
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	dB	dB(A)
Tila	55	51	44	41	38	29	22	0	56,5	43,2
Tila: 10 m ² absorptio LpA:										39,2
Tulo	54	56	53	55	56	53	48	37	62,7	59,6
Poisto	44	46	45	45	41	37	31	20	51,7	46,3
Ulko	46	42	40	43	39	34	26	18	49,6	43,5
Jäte	51	54	54	55	56	53	48	37	62,1	59,8

Mitoitusarvot:	Tulo	Poisto
Ilmavirta:	31 l/s	31 l/s
Kanavapaine:	125 Pa	125 Pa
Suodatustaso:	F5	F5

Tulokset:	Tulo:	Poisto:
Mitoituspisteessä:		
Puhallinnopeus:	63 %	59 %
Ilmavirta:	31 l/s	31 l/s
Kanavapaine:	125 Pa	125 Pa
Ottoteho:	29 W	26 W
SFP:	1,77 kW/(m ³ /s)	

Huipputeho:		
Ilmavirta:	50 l/s	43 l/s
Kanavapaine:	329 Pa	245 Pa
Tehostusvara:	62 %	40 %

Otsapintanopeuksia:		
Kanavalähtö (Ø160 mm):	1,54 m/s	1,54 m/s
LTO (Ø370 mm):	0,59 m/s	0,59 m/s

Patterit:		
Lämmityspatteri: Sähkö 100 x 100 mm sisäinen, 400 W		
Otsapintanopeus:	3,10 m/s	
Painehäviö:	1 Pa	

Pyörivä lämmönsiirrin:		
Painehäviö:	23 Pa	23 Pa
Hyötysuhde mitoituspisteessä:	80,8 %	
Tuloilma jälkeen LTO:n:	10,8 °C	
Jälkilämmitystarve mitoituspöytätilassa:	345 W	

Vuosilaskenta: Jyväskylä, Suomi	
Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia:	4680 kWh
Mitoituslämpötila:	-32 °C
Vuotuinen jälkilämmitystarve:	880 kWh
Tuloilman tavoitelämpötila:	20 °C
Lämpökertoim:	1 kWh sähköä = 7,9 kWh lämpöä
Vuosihyötysuhde: Moniste 122:n mukaisesti	79,7 %

Yllä mainitut arvot koskevat ilmanvaihtolaitetta, ei ilmanvaihtojärjestelmää.

enervent® Energy Optimizer

Kohde:
Käsittelijä:

Sivu 2
18.04.2012

Moniste 122 - ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa

Lähtöarvoja	
Paikkakunta	Jyväskylä, Suomi
Poistoilman lämpötila	21,0 °C
Jäteilmarajoitus	-10,0 °C
Ilmavirtojen suhde (tulo/poisto)	1,000
Hyötysuhde yhtäsuurilla ilmavirroilla	80,8 %

Vuosihyötysuhde: 79,7 %

Temp	Duration	Jäteilma	Tulo LTO	8s	8t
-34	0,057 %	-10,0	-3,0	11,4	6,4
-33	0,06 %	-10,0	-2,0	4,5	2,6
-32	0,091 %	-10,0	-1,0	2,1	1,2
-31	0,171 %	-10,0	0,0	15,2	9,1
-30	0,263 %	-10,0	1,0	17,1	10,4
-29	0,377 %	-10,0	2,0	20,8	12,9
-28	0,548 %	-10,0	3,0	30,6	19,3
-27	0,753 %	-10,0	4,0	35,9	23,2
-26	0,902 %	-10,0	5,0	25,6	16,9
-25	1,21 %	-10,0	6,0	51,7	34,9
-24	1,553 %	-10,0	7,0	56,3	38,8
-23	1,975 %	-10,0	8,0	67,8	47,7
-22	2,432 %	-10,0	9,0	71,7	51,7
-21	2,911 %	-10,0	10,0	73,4	54,2
-20	3,368 %	-10,0	11,0	68,4	51,7
-19	3,984 %	-10,0	12,0	89,9	69,7
-18	4,749 %	-10,0	13,0	108,9	86,6
-17	5,731 %	-9,7	13,7	136,2	110,0
-16	6,963 %	-8,9	13,9	166,4	134,4
-15	7,74 %	-8,1	14,1	102,1	82,5
-14	8,402 %	-7,3	14,3	84,6	68,3
-13	9,064 %	-6,5	14,5	82,2	66,4
-12	9,68 %	-5,7	14,7	74,2	59,9
-11	10,45 %	-4,9	14,9	89,9	72,7
-10	11,95 %	-4,0	15,0	169,7	137,1
-9	13,32 %	-3,2	15,2	150,0	121,2
-8	14,51 %	-2,4	15,4	126,0	101,8
-7	15,96 %	-1,6	15,6	148,2	119,7
-6	17,71 %	-0,8	15,8	172,5	139,3
-5	19,9 %	0,0	16,0	207,8	167,9
-4	22,91 %	0,8	16,2	274,7	221,9
-3	26,29 %	1,6	16,4	296,1	239,2
-2	29,1 %	2,4	16,6	235,9	190,6
-1	32,93 %	3,2	16,8	307,5	248,5
0	38,18 %	4,0	17,0	402,4	325,1
1	45,47 %	4,8	17,2	532,2	429,9
2	50,21 %	5,7	17,3	328,7	265,6
3	54,03 %	6,5	17,5	251,0	202,8
4	56,95 %	7,3	17,7	181,2	145,4
5	59,39 %	8,1	17,9	142,5	115,1
6	62,07 %	8,9	18,1	146,7	118,5
7	63,95 %	9,7	18,3	96,1	77,6
8	65,96 %	10,5	18,5	95,4	77,0
9	68,37 %	11,3	18,7	105,5	85,3
10	70,88 %	12,1	18,9	100,8	81,4
11	73,74 %	12,9	19,1	104,4	84,3
12	76,39 %	13,7	19,3	87,1	70,3
	100 %			8148,8	4888,1

Moniste 122: [<http://www.environment.fi/download.asp?contentid=9298&lan=fi>]

Enervent Oy
Kipinätie 1
06150 Porvoo, Finland

www.enervent.fi
p. +358(0)207 528 800
fax +358(0)207 528 844

enervent®

KUUKAUSITTAISET LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT (D3, s.31)

<i>Taulukko L2.3. Säätiiedot kuukausittain säävyöhykkeellä III, Jyväskylä.</i>			
Kuukausi	Ulkoilman keskilämpötila, T_{u} , °C	Auringon kokonaissäteilyenergia vaakatasolle, $G_{\text{säteily, vaakapinta}}$, kWh/m ²	Normitukseen käytettävä lämmitystarveluku, S17, Kd
Tammikuu	-8,00	5,4	775
Helmikuu	-7,10	20,1	675
Maaliskuu	-3,53	51,9	637
Huhtikuu	2,42	102,9	437
Toukokuu	8,84	171,4	210
Kesäkuu	13,39	159,1	60
Heinäkuu	15,76	158,2	22
Elokuu	13,76	113,9	78
Syyskuu	9,18	71,1	218
Lokakuu	4,07	25,3	401
Marraskuu	-1,76	7,3	563
Joulukuu	-5,92	3,2	706
Koko vuosi	3,43	890	4782

Auringon kokonaissäteilyenergia pystypinnoille eri ilmansuuntiin, $G_{\text{säteily, pystypinta}}$, kWh/m ²								
Kuukausi	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu
Tammikuu	6,0	4,5	3,1	6,5	9,0	6,8	3,3	4,5
Helmikuu	16,4	12,8	15,6	34,4	46,3	33,5	15,1	12,8
Maaliskuu	38,7	35,2	37,9	55,1	69,8	60,2	42,1	36,1
Huhtikuu	46,1	54,5	73,5	93,6	99,1	89,5	70,0	53,6
Toukokuu	68,9	91,3	122,6	132,4	123,4	124,5	115,0	88,5
Kesäkuu	72,7	87,1	105,4	108,0	103,3	107,5	103,6	85,0
Heinäkuu	65,1	81,4	106,2	115,0	109,4	111,6	104,5	82,6
Elokuu	48,0	57,0	74,5	91,7	98,3	94,5	77,3	58,1
Syyskuu	30,6	34,2	51,8	77,7	91,6	76,1	50,1	33,4
Lokakuu	15,3	13,6	18,5	33,1	42,5	32,1	17,6	13,3
Marraskuu	6,9	5,3	4,9	10,7	14,6	10,7	4,9	5,3
Joulukuu	3,3	2,5	1,6	3,3	4,4	3,2	1,6	2,5
Koko vuosi	418,0	479,4	615,6	761,5	811,7	750,2	605,1	475,7

Muunnoskerroin F_{muunta} , jolla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi eri ilmansuunnissa								
Kuukausi	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu
Tammikuu	1,094	0,833	0,568	1,189	1,651	1,256	0,610	0,824
Helmikuu	0,817	0,636	0,778	1,712	2,306	1,670	0,750	0,639
Maaliskuu	0,747	0,678	0,730	1,063	1,346	1,160	0,811	0,696
Huhtikuu	0,448	0,530	0,715	0,910	0,963	0,870	0,681	0,521
Toukokuu	0,402	0,533	0,715	0,773	0,720	0,726	0,671	0,517
Kesäkuu	0,457	0,547	0,662	0,679	0,649	0,675	0,651	0,534
Heinäkuu	0,412	0,514	0,671	0,727	0,692	0,705	0,661	0,522
Elokuu	0,422	0,500	0,654	0,805	0,863	0,830	0,679	0,510
Syyskuu	0,430	0,481	0,729	1,093	1,288	1,071	0,705	0,470
Lokakuu	0,604	0,535	0,729	1,305	1,675	1,268	0,695	0,523
Marraskuu	0,937	0,717	0,665	1,459	1,984	1,458	0,665	0,719
Joulukuu	1,015	0,762	0,503	1,006	1,352	0,997	0,500	0,765
Koko vuosi	0,470	0,539	0,692	0,856	0,912	0,843	0,680	0,535

LÄMPIMÄN KÄYTTÖVEDEN ENERGIATARPEEN LASKENTA

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve $Q_{lkv,netto}$

$$Q_{lkv,netto} = \rho_v * c_{pv} * V_{lk} * \frac{T_{lkv} - T_{kv}}{3600} - Q_{lkv,LTO}$$

$$Q_{lkv,netto} = 1000 \frac{kg}{m^3} * 4,2 \text{ kJ}/(kg \text{ K}) * (4 * 0,06 \text{ m}^3 * 365 \text{ vrk}) * \frac{50 \text{ }^\circ\text{C}}{3600} - 0$$

$$Q_{lkv,netto} = 5 \text{ 110 kWh/a}$$

Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve

$$Q_{lämmitys,lv} = \frac{Q_{klv,netto}}{\eta_{lv,siirto}} + Q_{lv,varastointi}$$

$$Q_{lämmitys,lv} = \frac{5 \text{ 110 kWh/a}}{0,85} + 1000 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{lämmitys,lv} = 7 \text{ 011,76 kWh/a}$$

VALAISTUKSEN LASKENTA VALAISINMALLEITTAIN

Valaistuksen teho, kun käytössä pienloistelamput ja alueella 300 lumenin kirkkausvaatimus, kuten eteinen.

$$P_{\text{valaistus,300lx,pienloistelamppu}} = \frac{1}{\beta * \eta * \eta_{\phi}} * E_i$$

$$P_{\text{valaistus,300lx,pienloistelamppu}} = \frac{1}{0,70 * 0,35 * 50 \frac{\text{lm}}{\text{W}}} * 21 \text{ W/hum}^2$$

$$P_{\text{valaistus,300lx,pienloistelamppu}} = 1,71 \text{ W/hum}^2$$

Valaistuksen teho, kun käytössä pienloistelamput ja alueella 500 lumenin kirkkausvaatimus, kuten pesuhuoneet ja keittiö.

$$P_{\text{valaistus,500lx,pienloistelamppu}} = \frac{1}{\beta * \eta * \eta_{\phi}} * E_i$$

$$P_{\text{valaistus,500lx,pienloistelamppu}} = \frac{1}{0,70 * 0,35 * 50 \frac{\text{lm}}{\text{W}}} * 36 \text{ W/hum}^2$$

$$P_{\text{valaistus,500lx,pienloistelamppu}} = 2,94 \text{ W/hum}^2$$

Valaistuksen teho, kun käytössä halogeenilamput ja alueella 300 lumenin kirkkausvaatimus, kuten käyttötila olohuone.

$$P_{\text{valaistus,300lx,halogeeni}} = \frac{1}{\beta * \eta * \eta_{\phi}} * E_i$$

$$P_{\text{valaistus,300lx,halogeeni}} = \frac{1}{0,70 * 0,35 * 12 \frac{\text{lm}}{\text{W}}} * 89 \text{ W/hum}^2$$

$$P_{\text{valaistus,300lx,halogeeni}} = 30,27 \text{ W/hum}^2$$

Valaistuksen teho, kun käytössä hehkulamput ja alueella 100 lumenin kirkkausvaatimus, kuten sauna.

$$P_{\text{valaistus,100lx,hehkulamppu}} = \frac{1}{\beta * \eta * \eta_{\phi}} * E_i$$

$$P_{\text{valaistus,100lx,hehkulamppu}} = \frac{1}{0,70 * 0,35 * 10 \frac{\text{lm}}{\text{W}}} * 36 \text{ W/hum}^2$$

$$P_{\text{valaistus,100lx,hehkulamppu}} = 14,69 \text{ W/hum}^2$$

HUONEKOHTAINEN VALAISUTEHON LASKENTA

Olohuoneen valaistus

$$W_{\text{valaistus, olohuone}} = \sum P_{\text{valaistus, 300lx, halogeeni}} * A_{\text{olohuone}} * \Delta t * f / 1000$$

$$W_{\text{valaistus, olohuone}} = 30,27 \frac{W}{\text{hm}^2} * 15,98 \text{ m}^2 * 550 \text{ h} * 0,90 / 1000$$

$$W_{\text{valaistus, olohuone}} = 239,44 \text{ kWh}$$

Keittiön valaistus

$$W_{\text{valaistus, keittiö}} = \sum P_{\text{valaistus, 500lx, pienloistelamppu}} * A_{\text{keittiö}} * \Delta t * f / 1000$$

$$W_{\text{valaistus, keittiö}} = 2,94 \frac{W}{\text{hm}^2} * 9,62 \text{ m}^2 * 550 \text{ h} * 0,90 / 1000$$

$$W_{\text{valaistus, keittiö}} = 14,00 \text{ kWh}$$

Kodinhoituhuoneen valaistus

$$W_{\text{valaistus, kodinhoituhuone}} = \sum P_{\text{valaistus, 500lx, pienloistelamppu}} * A_{\text{kodinghoituhuone}} * \Delta t * f / 1000$$

$$W_{\text{valaistus, kodinhoituhuone}} = 2,94 \frac{W}{\text{hm}^2} * 5,70 \text{ m}^2 * 550 \text{ h} * 0,90 / 1000$$

$$W_{\text{valaistus, kodinhoituhuone}} = 8,30 \text{ kWh}$$

Pesuhuoneen valaistus

$$W_{\text{valaistus, pesuhuone}} = \sum P_{\text{valaistus, 500lx, pienloistelamppu}} * A_{\text{pesuhuone}} * \Delta t * f / 1000$$

$$W_{\text{valaistus, pesuhuone}} = 2,94 \frac{W}{\text{hm}^2} * 5,23 \text{ m}^2 * 550 \text{ h} * 0,90 / 1000$$

$$W_{\text{valaistus, pesuhuone}} = 7,61 \text{ kWh}$$

Saunan valaistus

$$W_{\text{valaistus, sauna}} = \sum P_{\text{valaistus, 100lx, hehkulamppu}} * A_{\text{sauna}} * \Delta t * f / 1000$$

$$W_{\text{valaistus, sauna}} = 14,69 \frac{W}{\text{hm}^2} * 2,40 \text{ m}^2 * 550 \text{ h} * 0,90 / 1000$$

$$W_{\text{valaistus, sauna}} = 17,45 \text{ kWh}$$

Eteisen valaistus

$$W_{\text{valaistus, eteinen}} = \sum P_{\text{valaistus, 300lx, pienloistelamppu}} * A_{\text{eteinen}} * \Delta t * f / 1000$$

$$W_{\text{valaistus, eteinen}} = 1,71 \frac{W}{\text{hm}^2} * 5,60 \text{ m}^2 * 550 \text{ h} * 0,90 / 1000$$

$$W_{\text{valaistus, eteinen}} = 4,74 \text{ kWh}$$

WC:n valaistus

$$W_{\text{valaistus,WC}} = \sum P_{\text{valaistus,500lx,pienloistelamppu}} * A_{\text{WC}} * \Delta t * f / 1000$$

$$W_{\text{valaistus,WC}} = 2,94 \frac{W}{\text{h}\cdot\text{m}^2} * 1,98 \text{ m}^2 * 550 \text{ h} * 0,90 / 1000$$

$$W_{\text{valaistus,WC}} = 2,88 \text{ kWh}$$

Makuuhuone 1 valaistus

$$W_{\text{valaistus,makuuhuone 1}}$$

$$= \sum P_{\text{valaistus,300lx,pienloistelamppu}} * A_{\text{makuuhuone 1}} * \Delta t * f / 1000$$

$$W_{\text{valaistus,makuuhuone 1}} = 1,71 \frac{W}{\text{h}\cdot\text{m}^2} * 9,28 \text{ m}^2 * 550 \text{ h} * 0,90 / 1000$$

$$W_{\text{valaistus,makuuhuone 1}} = 7,86 \text{ kWh}$$

Makuuhuone 2 valaistus

$$W_{\text{valaistus,makuuhuone 2}}$$

$$= \sum P_{\text{valaistus,300lx,pienloistelamppu}} * A_{\text{makuuhuone 2}} * \Delta t * f / 1000$$

$$W_{\text{valaistus,makuuhuone 2}} = 1,71 \frac{W}{\text{h}\cdot\text{m}^2} * 9,28 \text{ m}^2 * 550 \text{ h} * 0,90 / 1000$$

$$W_{\text{valaistus,makuuhuone 2}} = 7,86 \text{ kWh}$$

Käytävän valaistus

$$W_{\text{valaistus,käytävä}} = \sum P_{\text{valaistus,300lx,pienloistelamppu}} * A_{\text{käytävä}} * \Delta t * f / 1000$$

$$W_{\text{valaistus,käytävä}} = 1,71 \frac{W}{\text{h}\cdot\text{m}^2} * 2,98 \text{ m}^2 * 550 \text{ h} * 0,90 / 1000$$

$$W_{\text{valaistus,käytävä}} = 2,52 \text{ kWh}$$

Makuuhuone 3 valaistus

$$W_{\text{valaistus,makuuhuone 3}}$$

$$= \sum P_{\text{valaistus,300lx,pienloistelamppu}} * A_{\text{makuuhuone 3}} * \Delta t * f / 1000$$

$$W_{\text{valaistus,makuuhuone 3}} = 1,71 \frac{W}{\text{h}\cdot\text{m}^2} * 8,40 \text{ m}^2 * 550 \text{ h} * 0,90 / 1000$$

$$W_{\text{valaistus,makuuhuone 3}} = 7,11 \text{ kWh}$$

KÄYTTÖAIKASUHTEEN LASKENTA

Käyttöaikasuhteet

$$\begin{aligned}\Delta t_{oleskelu} &= \sum t_d * t_v * \Delta t \\ \Delta t_{oleskelu} &= \frac{16 h}{24 h} * \frac{7 vrk}{7 vrk} * 720 h \\ \Delta t_{oleskelu} &= 480 h\end{aligned}$$

HENKILÖIDEN LUOVUTTAMAN LÄMPÖENERGIAN LASKENTA

Henkilöiden luovuttama lämpöenergia kuukaudessa

$$Q_{henk} = k * n * \phi_{henk} * \Delta t_{oleskelu} / 1000$$

$$Q_{henk} = 75 \% * 4 * 70 W * 480 h / 1000$$

$$Q_{henk} = 100,8 kWh/kk$$

IKKUNOIDEN KAUTTA RAKENNUKSEEN TULEVAN LÄMPÖKUORMAN LASKENTA

Ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan auringon säteilyenergia, pohjoinen

$$Q_{aur,pohjoinen,tammikuu} = \sum G_{säteily,vaakapinta} * F_{suunta,pohjoinen} * F_{löpäisy} * A_{ikk} * g$$

$$Q_{aur,pohjoinen,tammikuu} = 5,4 \text{ kWh/m}^2 * 1,094 * 0,75 * 4,8\text{m}^2 * 0,63$$

$$Q_{aur,pohjoinen,tammikuu} = 13,40 \text{ kWh}$$

Ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan auringon säteilyenergia, itä

$$Q_{aur,itä,tammikuu} = \sum G_{säteily,vaakapinta} * F_{suunta,itä} * F_{löpäisy} * A_{ikk} * g$$

$$Q_{aur,itä,tammikuu} = 5,4 \text{ kWh/m}^2 * 0,568 * 0,75 * 0\text{m}^2 * 0,63$$

$$Q_{aur,itä,tammikuu} = 0 \text{ kWh}$$

Ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan auringon säteilyenergia, etelä

$$Q_{aur,etelä,tammikuu} = \sum G_{säteily,vaakapinta} * F_{suunta,etelä} * F_{löpäisy} * A_{ikk} * g$$

$$Q_{aur,etelä,tammikuu} = 5,4 \text{ kWh/m}^2 * 1,651 * 0,75 * 4,8\text{m}^2 * 0,63$$

$$Q_{aur,etelä,tammikuu} = 20,22 \text{ kWh}$$

Ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan auringon säteilyenergia, länsi

$$Q_{aur,länsi,tammikuu} = \sum G_{säteily,vaakapinta} * F_{suunta,länsi} * F_{löpäisy} * A_{ikk} * g$$

$$Q_{aur,länsi,tammikuu} = 5,4 \text{ kWh/m}^2 * 0,610 * 0,75 * 0,16\text{m}^2 * 0,63$$

$$Q_{aur,länsi,tammikuu} = 0,25 \text{ kWh}$$

Ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan auringon säteilyenergia, kaikki ilmansuunnat

$$Q_{aur,tammikuu} = \sum Q_{aur,pohjoinen} + Q_{aur,itä} + Q_{aur,etelä} + Q_{aur,länsi}$$

$$Q_{aur,tammikuu} = 13,40 \text{ kWh} + 0 \text{ kWh} + 20,22 \text{ kWh} + 0,25 \text{ kWh}$$

$$Q_{aur,tammikuu} = 33,87 \text{ kWh}$$

AURINGON SÄTEILYNENERGIA ILMANSUUNNITTAIN

Taulukko 18. Ilmansuunnittain ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan aurin-
gon säteilyenergia
POHJOINEN

Kuukausi	$G_{\text{säteily,vaakapinta}} [\text{kWh/m}^2]$	F_{suunta}	$F_{\text{läpäisy}}$	$A_{\text{ikk}} [\text{m}^2]$	g	$Q_{\text{aur}} [\text{kWh}]$
Tammikuu	5,40	1,09	0,75	4,8	0,63	13,40
Helmikuu	20,10	0,82	0,75	4,8	0,63	37,24
Maaliskuu	51,90	0,75	0,75	4,8	0,63	87,93
Huhtikuu	102,90	0,45	0,75	4,8	0,63	104,55
Toukokuu	171,40	0,40	0,75	4,8	0,63	156,27
Kesäkuu	159,10	0,46	0,75	4,8	0,63	164,90
Heinäkuu	158,20	0,41	0,75	4,8	0,63	147,82
Elokuu	113,90	0,42	0,75	4,8	0,63	109,01
Syyskuu	71,10	0,43	0,75	4,8	0,63	69,34
Lokakuu	25,30	0,60	0,75	4,8	0,63	34,66
Marraskuu	7,30	0,94	0,75	4,8	0,63	15,51
Joulukuu	3,20	1,02	0,75	4,8	0,63	7,37
Yhteensä						948,01

ETELÄ

Kuukausi	$G_{\text{säteily,vaakapinta}} [\text{kWh/m}^2]$	F_{suunta}	$F_{\text{läpäisy}}$	$A_{\text{ikk}} [\text{m}^2]$	g	$Q_{\text{aur}} [\text{kWh}]$
Tammikuu	5,40	1,65	0,75	4,8	0,63	20,22
Helmikuu	20,10	2,31	0,75	4,8	0,63	105,12
Maaliskuu	51,90	1,35	0,75	4,8	0,63	158,44
Huhtikuu	102,90	0,96	0,75	4,8	0,63	224,74
Toukokuu	171,40	0,72	0,75	4,8	0,63	279,89
Kesäkuu	159,10	0,65	0,75	4,8	0,63	234,18
Heinäkuu	158,20	0,69	0,75	4,8	0,63	248,29
Elokuu	113,90	0,86	0,75	4,8	0,63	222,93
Syyskuu	71,10	1,29	0,75	4,8	0,63	207,70
Lokakuu	25,30	1,68	0,75	4,8	0,63	96,11
Marraskuu	7,30	1,98	0,75	4,8	0,63	32,85
Joulukuu	3,20	1,35	0,75	4,8	0,63	9,81
Yhteensä						1840,29

LÄNSI

Kuukausi	$G_{\text{säteily,vaakapinta}} [\text{kWh/m}^2]$	F_{suunta}	$F_{\text{läpäisy}}$	$A_{\text{ikk}} [\text{m}^2]$	g	$Q_{\text{aur}} [\text{kWh}]$
Tammikuu	5,40	0,61	0,75	0,16	0,63	0,25
Helmikuu	20,10	0,75	0,75	0,16	0,63	1,14
Maaliskuu	51,90	0,81	0,75	0,16	0,63	3,18
Huhtikuu	102,90	0,68	0,75	0,16	0,63	5,30
Toukokuu	171,40	0,67	0,75	0,16	0,63	8,69
Kesäkuu	159,10	0,65	0,75	0,16	0,63	7,83
Heinäkuu	158,20	0,66	0,75	0,16	0,63	7,91
Elokuu	113,90	0,68	0,75	0,16	0,63	5,85
Syyskuu	71,10	0,71	0,75	0,16	0,63	3,79
Lokakuu	25,30	0,70	0,75	0,16	0,63	1,33
Marraskuu	7,30	0,67	0,75	0,16	0,63	0,37
Joulukuu	3,20	0,50	0,75	0,16	0,63	0,12
Yhteensä						45,75

LÄMMITYKSESSÄ HYÖDYNNETTÄVIEN LÄMPÖKUORMIEN LASKENTA

Rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö (H_{tila}) tammikuussa

$$H_{\text{tila,tammikuu}} = \frac{Q_{\text{tila}}}{(T_s - T_u) * \Delta t} * 1000$$

$$H_{\text{tila,tammikuu}} = \frac{1\,380,92\text{ kWh}}{(+20^\circ\text{C} - (-8^\circ\text{C})) * 744\text{ h}} * 1000$$

$$H_{\text{tila,tammikuu}} = 66,29\text{ W/K}$$

Aikavakio (τ) tammikuussa

$$\tau_{\text{tammikuu}} = \frac{(C_{\text{rak omin}} * A_{\text{netto}})}{H_{\text{tila}}}$$

$$\tau_{\text{tammikuu}} = \frac{\left(\frac{40\text{ Wh}}{\text{m}^2\text{K}} * 76,45\text{ m}^2\right)}{71,87\frac{\text{W}}{\text{K}}}$$

$$\tau_{\text{tammikuu}} = 42,55\text{ h}$$

Parametrin (a) laskenta tammikuussa

$$a_{\text{tammikuu}} = 1 + \frac{\tau}{15}$$

$$a_{\text{tammikuu}} = 1 + \frac{42,55\text{ h}}{15}$$

$$a_{\text{tammikuu}} = 3,84\text{ h}$$

Suhdeluku γ laskenta

$$\gamma_{\text{tammikuu}} = \frac{Q_{\text{lämpökuorma}}}{Q_{\text{tila}}}$$

$$\gamma_{\text{tammikuu}} = \frac{344,29\text{ kWh}}{1\,380,92\text{ kWh}}$$

$$\gamma_{\text{tammikuu}} = 0,25$$

Hyödyntämiskertoimen laskenta tammikuussa

$$\eta_{\text{lämpö,tammikuu}} = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{1+a}}$$

$$\eta_{\text{lämpö,tammikuu}} = \frac{1 - 0,25^{4,08}}{1 - 0,25^{1+4,08}}$$

$$\eta_{\text{lämpö,tammikuu}} = 1,00$$

Lämpökuormista hyödynnettävä energian osuus tammikuussa

$$Q_{\text{sis,lämpö,tammikuu}} = \eta_{\text{lämpö}} * Q_{\text{lämpökuorma}}$$

$$Q_{\text{sis,lämpö,tammikuu}} = 1,00 * 344,29\text{ kWh}$$

$$Q_{\text{sis,lämpö,tammikuu}} = 343,39\text{ kWh}$$

E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET

Taulukko 19. E-luvun laskennan tulokset

Rakennuskohde				
Osoite	NN			
Rakennuksen käyttötarkoitus	Asuinrakennus			
Rakennusvuosi	2012			
Lämmitetty nettoala	76,45 m ²			
E-luku	310,05 kWh/(m²a) (kwh lämmitettyä nettoalaa kohti)			
E-luvun erittely	Ostoenergia	Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus	
	kWh/a	-	kWh/a	kWh/(m ² a)
Sähkö	13943,1	1,7	23703,27	310,05
Kaukolämpö		0,7		
Kaukojäähdytys		0,4		
Uusiutuva polttoaine		0,5		
Fossiilinen polttoaine		1		
Yhteensä	13943,1	-	23703,27	310,05
Uusiutuva omavaraisenergia	kWh/a	kWh/(m ² a)		
Aurinkosähkö				
Aurinkolämpö				
Tuulisähkö				
Lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia				
Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus	Sähkö	Lämpö	Kaukojäähdytys	
	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	
Lämmitysjärjestelmä	-			
Tilojen lämmitys ¹	62,97			
Tuloilman lämmitys	8,37			
Lämpimän käyttöveden valmistus	91,72			
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus	12,57	-		
Jäähdytysjärjestelmä	0			
Kuluttajalaitteet ja valaistus	32,91	-		
Yhteensä	208,55			
¹ Ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen				
Energian nettotarve	kWh/a	kWh/(m ² a)		
Tilojen lämmitys ²	9589,31	125,43		
Ilmanvaihdon lämmitys ³	640,23	8,37		
Lämpimän käyttöveden valmistus	5110,00	66,84		
Jäähdytys	0			
² sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa				
³ laskettu lämmöntalteenoton kanssa				
Lämpökuormat	kWh/a	kWh/(m ² a)		
Aurinko	2834,05	37,07		
Ihmiset	1209,60	15,82		
Kuluttajalaitteet	2196,00	28,72		
Valaistus	319,76	4,18		

PIENOISMALLIN U-ARVO LASKENTA

Alapohjan resistanssi $R_{total,AP}$ lasketaan kaavalla

$$R_{total} = \frac{d}{\lambda_u} + (R_{si} + R_{se})$$

$$R_{total,AP} = \frac{0,022 \text{ m}}{0,06 \text{ W/m} \cdot \text{K}} + (0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} + 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W})$$

$$R_{total,AP} = 0,576 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Resistanssit muunnetaan lämmönläpäisykertoimeksi käänteisluvulla

$$U_{AP} = \frac{1}{R_{total}}$$

$$U_{AP} = \frac{1}{0,576 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}}$$

$$U_{AP} = 1,734 \text{ W/(K} \cdot \text{m}^2\text{)}.$$

Ulkoseinän resistanssi $R_{total,US}$ lasketaan kaavalla

$$R_{total} = \frac{d}{\lambda_u} + (R_{si} + R_{se})$$

$$R_{total,US} = \frac{0,022 \text{ m}}{0,06 \text{ W/m} \cdot \text{K}} + (0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} + 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W})$$

$$R_{total,US} = 0,537 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Resistanssit muunnetaan lämmönläpäisykertoimeksi käänteisluvulla

$$U_{US} = \frac{1}{R_{total}}$$

$$U_{US} = \frac{1}{0,537 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}}$$

$$U_{US} = 1,863 \text{ W/(K} \cdot \text{m}^2\text{)}.$$

Yläpohjan resistanssi $R_{total,YP}$ lasketaan kaavalla

$$R_{total} = \frac{d_1}{\lambda_{1u}} + (R_{si} + R_{se}) + R_{gu} + \frac{d_2}{\lambda_{2u}}$$

$$R_{total,YP} = \frac{0,022 \text{ m}}{0,06 \text{ W/m} \cdot \text{K}} + (0,10 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} + 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}) + 0,15 \text{ m}^2$$

$$\cdot \text{K/W} + \frac{0,022 \text{ m}}{0,06 \text{ W/m} \cdot \text{K}}$$

$$R_{total,YP} = 1,023 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Resistanssit muunnetaan lämmönläpäisykertoimeksi käänteisluvulla

$$U_{YP} = \frac{1}{R_{total}}$$

$$U_{YP} = \frac{1}{1,023 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}}$$

$$U_{YP} = 0,977 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m}^2).$$

Ikkunoiden resistanssi $R_{\text{total,ikkunat}}$ lasketaan seuraavalla kaavalla

$$R_{\text{total}} = \frac{d}{\lambda_u} + (R_{si} + R_{se})$$

$$R_{\text{total, ikkuna}} = \frac{0,0005 \text{ m}}{0,2? \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}} + (0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} + 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W})$$

$$R_{\text{total, ikkuna}} = 0,173 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

Resistanssit muunnetaan lämmönläpäisykertoimeksi käänteisluvulla

$$U_{ikkuna} = \frac{1}{R_{\text{total, Ikkuna}}}$$

$$U_{ikkuna} = \frac{1}{0,173 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}}$$

$$U_{ikkuna} = 5,797 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m}^2).$$

Ovien resistanssi $R_{\text{total,ovet}}$ lasketaan seuraavalla kaavalla

$$R_{\text{total}} = \frac{d}{\lambda_u} + (R_{si} + R_{se})$$

$$R_{\text{total, ovi}} = \frac{0,012 \text{ m}}{0,14 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}} + (0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} + 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W})$$

$$R_{\text{total, ovi}} = 0,256 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

Resistanssit muunnetaan lämmönläpäisykertoimeksi käänteisluvulla

$$U_{ovi} = \frac{1}{R_{\text{total, ovi}}}$$

$$U_{ovi} = \frac{1}{0,256 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}}$$

$$U_{ovi} = 3,906 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m}^2).$$

TESTAUSRAPORTTI

POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennus- ja tietotekniikan koulutusohjelma

Kuosmanen Antti
Määttänen Mikko
Lari Sistonen
Antti Leppänen

Testausraportti

Talotekniikan monialainen projektityö
Miska Piirainen
Toukokuu 2012

Sisältö

1 Mittausjärjestelyt	3
2 Suunnitteluarvot	4
2.1 Ominaislämpöhäviö	4
2.2 Aikavakio	4
2.3 Tehollinen lämpökapasiteetti	4
2.4 Johtumisen ominaislämpöhäviö	4
2.5 Vuotoilman ominaislämpöhäviö	4
2.6 Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö	5
3 Mittaustulokset	6
4 Mittausten luotettavuus	11
5 Tulosten vertailu.....	12
5.1 Ominaislämpöhäviöt	12
5.2 Aikavakiot	13

1 Mittausjärjestelyt

Mittaukset suoritettiin Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun tiloissa, työntekijöiden toimesta. Tässä raportissa on esitetty seuraavat mittaukset;

- pienoismallin lämpeneminen muutamalla vakio teholla ja erilaisilla ilman vaihdon asetuksilla
- pienoismallin jäähtyminen erilaisilla ilman vaihdon asetuksilla ja
- ilmanvaihdon lämpötilat.

Testit tehtiin askelvastekokeina ja lämpötilat mitattiin taloon asennetuilla huone-lämpötila-antureilla. Automaation käyttöliittymä kirjasi mittaukset lokitiedostoon. Lokitiedostot voitiin käsitellä Excel – ohjelmalla, jonka avulla pystyimme tekemään erilaisia laskelmia. Näistä tuloksista saimme määritettyä pienoismallille

- lämpötilojen maksimi erot ja
- aikavakiot.

Tuloksia on esitetty tässä raportissa kuvioin, taulukoin ja lukuarvoin.

2 Suunnitteluarvot

2.1 Ominaislämpöhäviö

Ominaislämpöhäviö kuvaa kuinka paljon lämpöenergiaa rakennuksen sisälle johtuvan ilman lämmitykseen kuluu. Rakennuksen sisälle johtuva ilmamäärä koostuu ilmanvaihdon korvausilmasta, rakennuksen vaipan läpi johtuvasta ja rakenteiden liitoksien epätiivetyksien kautta rakennukseen johtuvasta ilmamäärästä. Ominaislämpöhäviön tunnus on H ja sen yksikkö on W/K. Pienoismallitaloon tehdyn taseuslaskelman perusteella saimme pienoismallitalon ominaislämpöhäviöksi 7 W/K.

2.2 Aikavakio

Omakotitalossa aikavakio on noin 50 tuntia. Pienoismalliin se skaalattiin suhteessa 1:24, että aikavakioksi saimme noin kaksi tuntia. Ajan jaksonpituus valittiin kahdeksi tunniksi, koska pienoismallia pyrittiin käyttämään hyväksi opetustoiminnassa.

2.3 Tehollinen lämpökapasiteetti

Rakennuksen sisäpuolisen lämpökapasiteetin laskimme pienoismallin aikavakion τ ja ominaislämpöhäviön H tulona. Lämpökapasiteetiksi saimme 10,92 W/K.

2.4 Johtumisen ominaislämpöhäviö

Rakenteiden U-arvot ja näiden pinta-alat vaikuttavat rakenneosien ominaislämpöhäviöön. Eri rakenneosien ominaislämpöhäviöiden summaksi saimme 4,8 W/K.

2.5 Vuotoilman ominaislämpöhäviö

Rakennuksen pienoismallissa ilmanvaihtoluvun suunnittelu arvona käytimme lukua 4,0, koska pienempää arvoa saa käyttää vain jos kohteessa on tehty il-

mantiiveysmittaus. Vuotoilman aiheuttama ominaislämpöhäviö pienoismallissa on 0,1 W/K.

2.6 Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö

Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöön vaikuttavat kaksi tekijää. Ensimmäisen poistoilma virta, jossa käytimme periaatetta, jonka mukaan ilmanvaihdon tehokkuus tulisi riittää vaihtamaan koko rakennuksen ilman kahdessa tunnissa. Toisena lämmöntalteenoton hyötysuhde, jonka arvioitiin olevan 20 %. Edellä mainittujen muuttujien avulla saimme ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöksi 2,1 W/K.

3 Mittaustulokset

Tulokset saatiin automaatio ohjelman lokitiedostoista Excel taulukko muodossa. Näistä taulukoista laskettiin seuraavia arvoja;

- lämpötilan mitatut keskiarvot huonekohtaisesti
- lämpötilan laskennallinen keskiarvo huonekohtaisesti ja
- Excel ratkaisijan avulla saimme lämpötilan maksimi erotuksen ja aikavakion.

Excel ratkaisijassa käytettiin kaavaa 1, ratkaisija muokkasi aikavakion τ ja lämpötilan ΔT muutoksen arvoja.

$$T_{\text{lähtö}} + \Delta T_{\text{max}} * (1 - e^{(-t/\tau)}) \quad (1)$$

jossa,

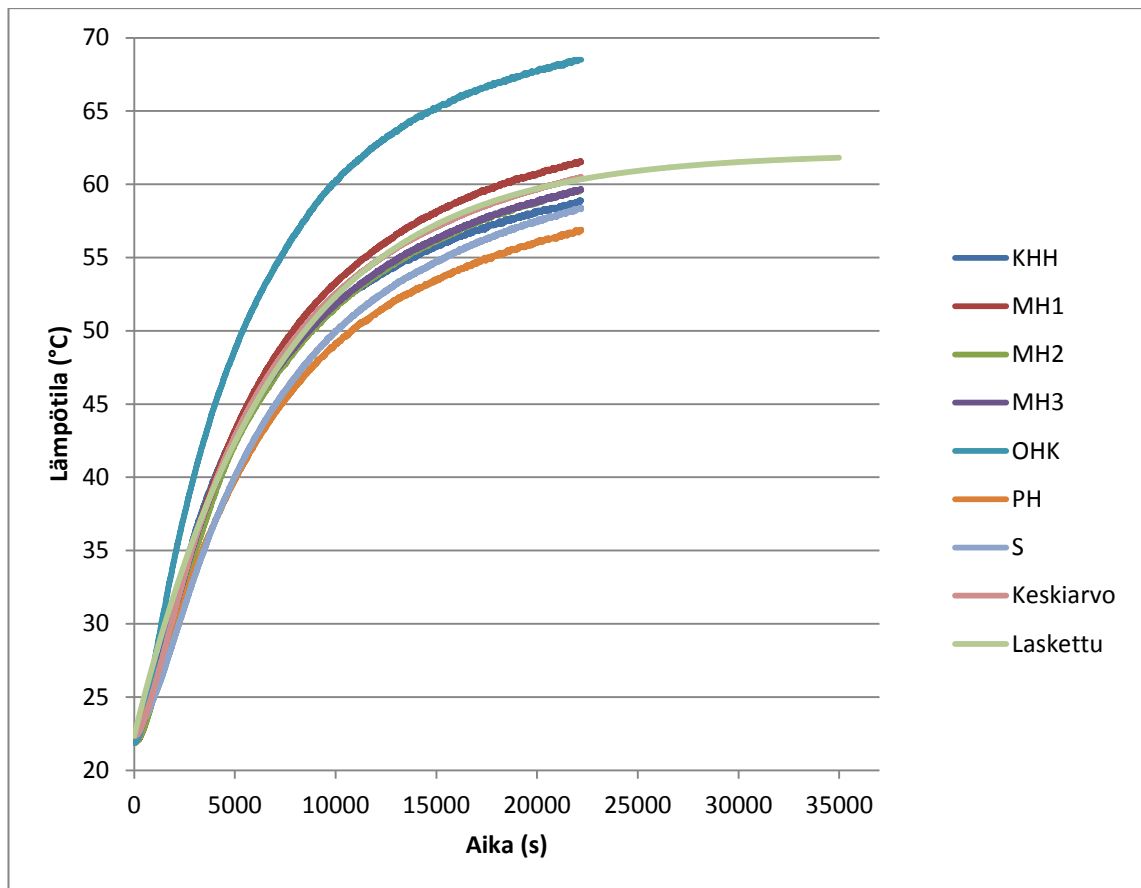
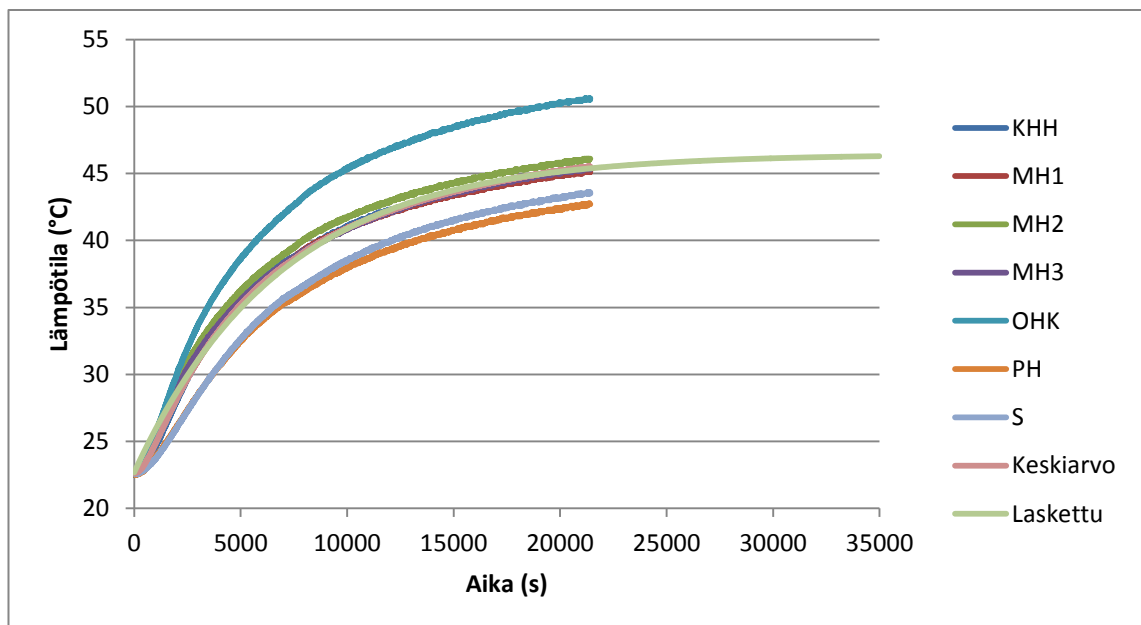
$T_{\text{lähtö}}$	on lähtölämpötila, K
ΔT_{max}	on lämpötilan muutos, K
e	matemaattinen vakio, neperin luku, 2,718
t	on aika, s
τ	on aikavakio, h

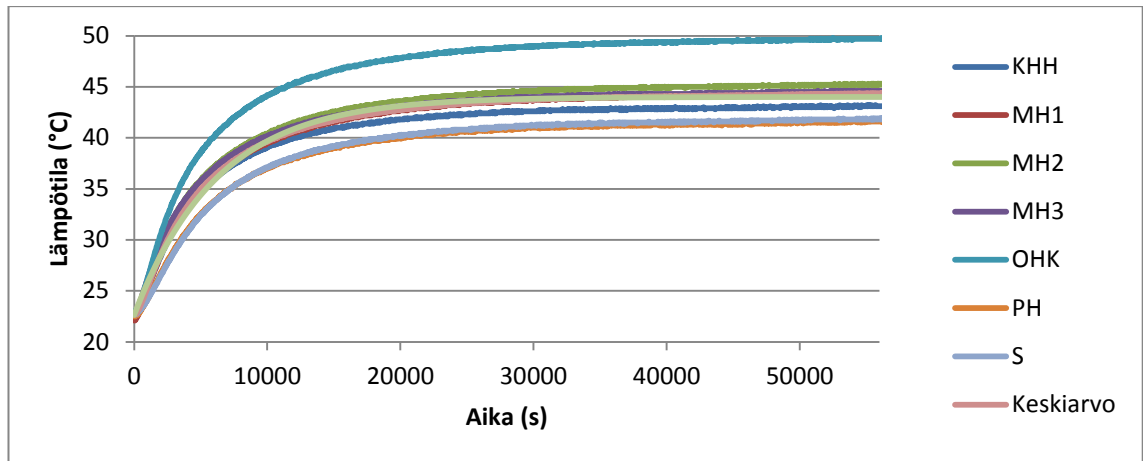
Jokaiselle näytteenotto hetkelle laskettiin lämpötilojen keskiarvo. Jokaisen näytteen lämpötilan keskiarvosta ja laskennallisesta arvosta tehtiin kaavan 2 mukainen laskenta.

$$(T_{\text{laskettu}} - T_{\text{keskiarvo}})^2 \quad (2)$$

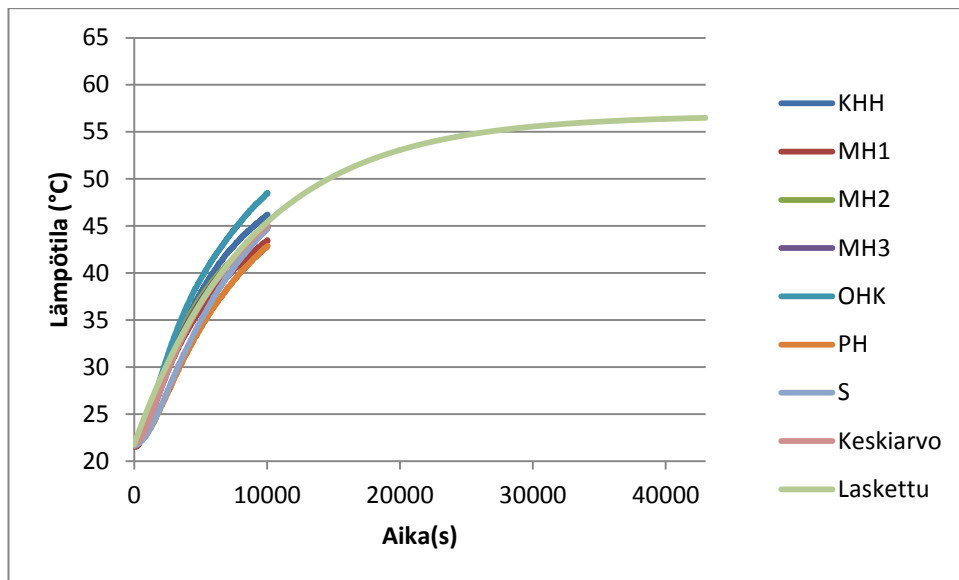
Kaavan 2 tulokset summattiin yhteen. Tätä summaa ratkaisija käytti tavoitearvona, pyrkien samaan siihen pienimmän mahdollisen tuloksen. Ratkaisijan lausekkeessa muuttuivat lämpötilan muutos ΔT_{max} ja aikavakio τ .

Kuvioissa 1 – 5 on esitetty erilaisilla mittausasetuksilla tehtyjen testien tuloksia lämpötilan ja ajan suhteen.

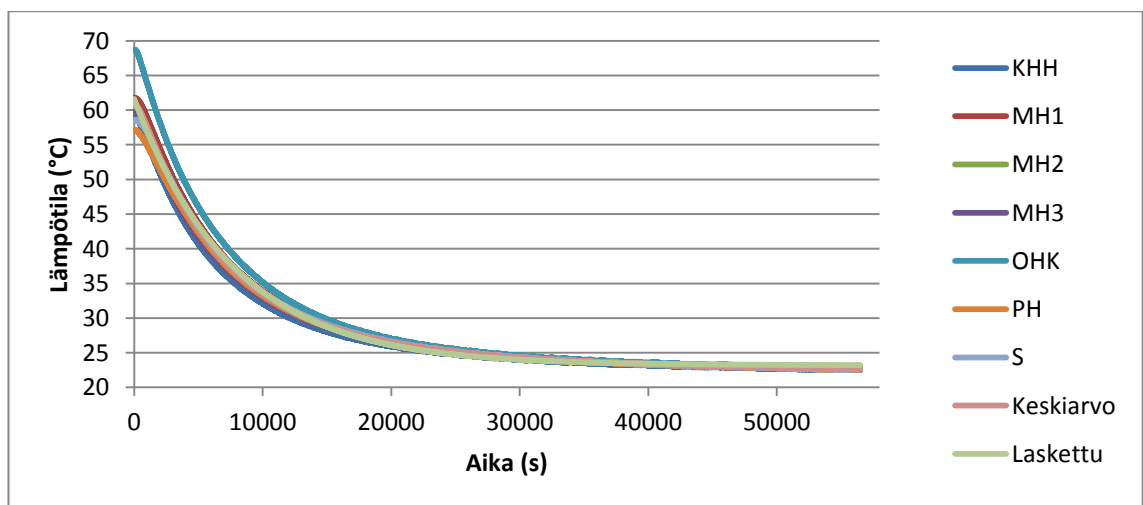
Kuvio 1 Lämmitys, lattialämmitys 100 % ja IV 50 %, ΔT_{\max} 39,75 °CKuvio 2 Lämmitys, patterilämmitys 50 % ja IV 50 %, ΔT_{\max} 23,75 °C



Kuvio 3 Lämmitys, patterilämmitys 50 % ja IV 100 %, ΔT_{\max} 21,37 °C



Kuvio 4 Lämmitys, patterilämmitys 50 % ja IV 0 %, ΔT_{\max} 35,00 °C



Kuvio 5 Jäähtyminen, lattialämmitys 100 % ja IV 50 %, ΔT_{\max} 37,43 °C

Mitattujen lämmitystehojen ja lämpötilaeron maksimin avulla pystyimme laskemaan lämpöhäviöt kokonaisuudessaan. Taulukossa 1 on testaustulosten arvot ja niitä on käytetty laskettaessa kaavojen 1 ja 2 tuloksia.

Taulukko 1 Mittaustulosten tarkemmat lukuarvot

Lämmitystapa ja teho- %	IV - %	Teho [W]	Lämpötila ΔT	Ominaislämpöhäviö [W/K]
Lattialämmitys, 100 %	50	296,00	39,75	7,45
Patterilämmitys, 50 %	50	159,00	23,75	6,69
Patterilämmitys, 50 %	0	159,00	35,00	4,54
Lattialämmitys, 100 % (Jäähdytys)	50	296,00	37,43	7,91

Kaavassa 3 on esitetty lämpöhäviöiden laskenta.

$$H = H_{vuotoilma} + H_{iv} + H_{joht} \quad (3)$$

jossa,

H

on ominaislämpöhäviöiden summa, W/K

$H_{vuotoilma}$

on vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K

H_{iv}

on ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K

H_{joht}

on rakennusosien kautta tapahtuva lämpöhäviö, W/K

Kaavasta 3 saadaan myös laskettua vain ilmanvaihdon osuus kaikkien lämpöhäviöiden summasta, muuntamalla kaavan seuraavaan muotoon

$$H_{iv} = H_{joht} - H_{vuotoilma}$$

Testauksen tuloksista saadut arvot sijoitettuna kaavaan 3 josta saadaan ilmanvaihdon lämpöhäviöksi

$$H_{iv} = 6,69 \text{ W/K} - 4,54 \text{ W/K}$$

$$H_{iv} = 2,15 \text{ W/K}$$

Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöstä saadaan laskettua poistoilmavirta $q_{v,p}$ kaavalla 4.

$$H_{iv} = 1\,200 * q_{v,p} * (1 - \eta_a) \quad (4)$$

jossa

H_{iv} on ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K

$q_{v,p}$ on poistoilmavirta, m^3/s

η_a on lämmöntalteenoton hyötysuhde, %

$$q_{v,p} = \frac{H_{iv}}{1\,200 * (1 - \eta_a)}$$

$$q_{v,p} = \frac{2,15 \text{ W/K}}{1\,200 * (1 - 0,8)}$$

$$q_{v,p} = 0,00224 \text{ m}^3/\text{s}$$

Poistoilmavirta on 2,24 litraa sekunnissa.

4 Mittausten luotettavuus

Testausten luotettavuus on keskinkertainen. Tulokset pohjautuvat vain yksittäisiin mittauksiin, eikä niitä ole toistettu. Näin ollen tulokset eivät välttämättä ole täysin luotettavia.

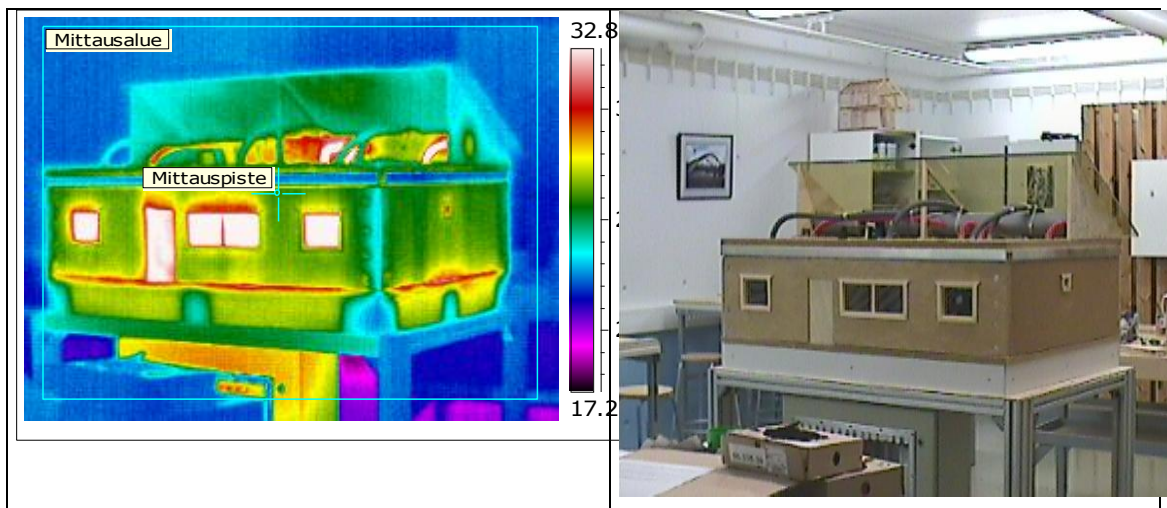
Pienoismallin ja testauksen suorittajina uskomme kuitenkin, että testausten uusiminen ei muuta tuloksia kuin marginaalisesti. Olemme kuitenkin tyytyväisiä testauksen suorittamiseen ja sen tuloksiin sekä luotettavuuteen.

5 Tulosten vertailu

5.1 Ominaislämpöhäviöt

Kokonaisuudessa pienoismallin lämpöhäviöiden summa on laskennallisesti 7 W/K. Testauksen suorituksen perusteella pienoismallille lämpöhäviöiksi saimme erilaisilla lämmitystehon ja ilmanvaihdon asetuksilla 6,69 – 7,45 W/K. Mittausten pienin arvo 4,54 W/K jätettiin huomioimatta, koska tässä mittauksessa ilmanvaihto oli kytketty pois päältä.

Laskennallisten ja testattujen ominaislämpöhäviöiden erot ovat minimaalisia. Suurin syy eroon on ehkä rakenteiden epätiivetyys erilaisissa liitoksissa (kuva 1), jotka lisäävät vuotoilman lämpöhäviötä.



Kuva 1 Lämpökamerakuva rakennuksen epätiivyydestä

Ilmanvaihdon lämpöhäviö 20 % lämmöntalteenotolla oli laskennallisesti 2,1 W/K. Testausten perusteella ilmanvaihdon lämpöhäviöksi saimme 2,15 W/K. Ilmanvaihdon laskennallinen ja testattu lämpöhäviö vastaavat toisiaan. Ilmavirrat tosin poikkeavat toisistaan hieman. Laskennallinen ilmanvaihto oli 3,1 l/s, mutta testauksessa ilmanvaihto oli vain 2,24 l/s. Eroa aiheutti ilmanvaihdon ja rakenteiden liitoksien epätiivyydestä. Ilmanvaihdon putkissa tapahtunut lämpötilan lasku, jopa 10 °C, aiheutti myös eroa laskenta- ja mittaustuloksissa.

Laskennallisten arvojen ja mitattujen tulosten perusteella voimme olla kokonaisuudessaan tyytyväisiä rakennuksen lämpötekniiseen toimintaan. Laskennallisten tulosten ja testauksen antamien arvojen perusteella on tulosten ero vain muutamia prosenttiyksikköjä.

5.2 Aikavakiot

Aikavakion laskennan arvo on 2 tuntia. Erilaisten testausten mukaan aikavakio vaihtelee 1,74 – 2,47 tunnin välillä. Tuloksiin vaikuttavaa mm. lattian massiivisuus, lämmönvastuksen kasvu kun lämpötilaerot ovat pienet ja lämmitystavan pinta-ala.

Lattian massiivisuus havaitaan kuviosta 2, saunan ja pesuhuoneen käyrän alun loivempana osuutena. Lattia sitoo alussa itseensä enemmän lämpöä ennen kuin siirtää sitä huoneilmaan.

Lämmönvastuksen kasvun huomaa kaaviosta 5, jäähtyminen. Lämpötila erojen pienentyessä lämmönvastus lämmönsiirtymiseen kasvaa eksponentiaalisesti. Kaaviossa 5 esitetyssä mittauksessa huomaa kuinka loppuvaiheen aikana lämpötila laskee hitaasti lämmönvastuksen kasvamisen myötä.

Jäähtymisen aikavakion suuruuteen vaikuttaa myös lämmitystavan pinta-ala. Lattialämmitys luovuttaa huomattavasti pidempään lämpöä kuin patterilämmitys, minkä seurauksen aikavakio on lattialämmityksessä suurempi.